

MÉMOIRE

SUR

LES GRANDES ROUTES,

LES CHEMINS DE FER

ET LES CANAUX DE NAVIGATION.

IMPRIMERIE DE HUZARD-COURCIER,
rue du Jardinet, n° 12.

MÉMOIRE

SUR

LES GRANDES ROUTES,

LES CHEMINS DE FER

ET LES CANAUX DE NAVIGATION;

TRADUIT DE L'ALLEMAND,

DE M. F. DE GERSTNER,

Chevalier de l'Ordre Impérial et Royal de Saint-Léopold, Professeur royal et impérial de Mathématiques transcendantes et de Mécanique à l'Institut technique des États de Bohême, etc., etc., etc.,

ET PRÉCÉDÉ D'UNE INTRODUCTION,

PAR M. P. S. GIRARD,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Membre de l'Institut, (Académie royale des Sciences).

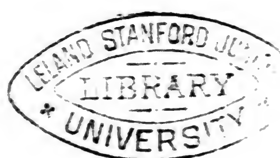
PARIS,

BACHELIER, SUCCESSEUR DE MME V^E COURCIER,

LIBRAIRE POUR LES SCIENCES,

QUAI DES AUGUSTINS, N° 55.

1827


LELAND STANFORD JUNIOR
LIBRARY
UNIVERSITY

AVERTISSEMENT.

L'ouvrage allemand dont on publie la traduction a paru à Prague en 1813. Un premier exemplaire m'en fut remis, en 1815, à Paris, par M. le comte de Buquoy, chambellan de S. M. l'empereur d'Autriche; l'auteur lui-même voulut bien, quelque temps après, m'en adresser un second. Sa réputation, et la certitude de trouver dans le Mémoire de M. le chevalier de Gerstner d'utiles instructions pour les *ingénieurs* qui s'occupent de leur art et qui *travaillent* à ses progrès, me firent vivement désirer qu'il fût traduit en français. Mais les circonstances ne me permettaient pas alors de m'occuper de l'introduction dont je croyais que cette traduction devait être précédée; je me vis ainsi obligé d'ajourner cette publication.

L'attention que nos voisins ont attirée, depuis quelques années, sur les chemins de fer, ayant rendu plus général en France l'intérêt avec lequel cette nouvelle branche de l'art de l'ingénieur y est étudiée aujourd'hui, j'ai pensé que la traduction de l'ouvrage de M. de Gerstner y serait d'autant mieux accueillie, que les Anglais, qui ont beaucoup écrit sur cette matière, n'ont jamais cité cette production, quoiqu'elle soit antérieure aux différens traités qu'ils ont eux-mêmes publiés.

Ce silence de leur part est une preuve évidente que la langue allemande n'est pas assez répandue en Angleterre; malheureusement elle ne l'est pas davantage en France; et ce n'est pas chose aisée de trouver quelqu'un qui, possédant également bien les deux langues, soit encore assez versé dans les sciences pour entreprendre avec succès de traduire un ouvrage allemand où l'analyse mathématique se trouve continuellement appliquée à des questions de mécanique expérimentale.

La connaissance que j'ai eu l'avantage de faire, il y a deux ans, de M. Terquem, ancien élève de l'École Polytechnique et bibliothécaire du dépôt central de l'artillerie, a levé les obstacles qui m'avaient arrêté jusqu'alors; il a bien voulu se charger de traduire le Mémoire de M. de Gerstner sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux. Nous avons apporté tous nos soins à revoir cette traduction, dans laquelle nous nous sommes particulièrement attachés à présenter les calculs avec l'ordre et la netteté qui, sans ajouter à leur rigueur, les rendent néanmoins toujours plus faciles à saisir.

P.-S. GIRARD.

INTRODUCTION.

Il existait depuis long-temps des chemins de communication d'un lieu à un autre, lorsque, pour rendre ces chemins praticables en toute saison et faciliter le roulage des voitures qui les fréquentaient, on eut pour la première fois l'idée d'en affermir et d'en régulariser la surface. On commença alors à les recouvrir de pierres dures, soit que ces pierres, réduites en fragmens, formassent une ou plusieurs couches d'une certaine épaisseur, soit qu'après les avoir taillées, à dessein de les appliquer exactement les unes contre les autres, on les posât avec plus ou moins de précautions sur un sol naturel ou factice préparé pour les recevoir.

On attribue aux Carthaginois l'invention des chemins pavés (1). Ainsi ce peuple, dont les vaisseaux parcouraient toutes les mers connues des anciens, voulut encore étendre ses relations commerciales, en rendant plus faciles à pratiquer les communications qu'il avait ouvertes avec le littoral et l'intérieur de l'Afrique.

Ce fut, selon toute apparence, après avoir eu connaissance des chemins pavés par les

Carthaginois, que les Romains songèrent à paver aussi leurs grandes routes. La voie Appienne, la plus ancienne de toutes, ne fut exécutée en effet que vers l'année 442 de la fondation de Rome (2). Plus tard, ils en entreprirent d'autres à travers les différentes contrées de l'Italie; enfin, par la construction de leurs voies militaires, ils purent assurer et rendre plus rapides les mouvemens de leurs légions dans les diverses parties de l'ancien continent, qu'ils avaient réduites en provinces.

Ce qui nous reste des chemins romains a permis de reconnaître les procédés mis en œuvre pour les exécuter (3). L'ouvrage composé par Nicolas Bergier, au commencement du XVIIe siècle, contient sur cette matière tous les renseignemens que l'érudition peut accumuler (4). On y trouve une multitude de détails curieux que notre objet n'est point de rappeler ici; il nous suffira de dire qu'en général, la surface des voies romaines était, ou pavée de grandes pierres, ou couverte de petits cailloux et de graviers arrangés avec soin et comprimés à force de bras les uns contre les autres (5): quelquefois la même route offrait ces deux modes de construction. Son milieu (*agger*) était pavé de dalles et s'élevait au-des-

sus de ses parties latérales (*margines*), qui étaient seulement recouvertes de cailloux (6). Au surplus, quelques moyens qu'on ait employés pour exécuter ces grands ouvrages et les entretenir, il est constant que l'on était parvenu à rendre certaines voies romaines parfaitement roulantes, puisqu'au rapport de Pline (7) Tibère-Néron, envoyé en Allemagne sur la nouvelle reçue de la maladie de Drusus son frère, parcourut en vingt-quatre heures, au moyen de relais établis le long de la route qu'il suivit, 200 milles italiques, ou environ 316 kilomètres (158 *lieues de poste*).

La dénomination de voies militaires, donnée à la plupart des grands chemins de l'empire romain, indique assez qu'ils n'avaient point été entrepris dans les intérêts du commerce intérieur de cet empire. Quelquefois, sans doute, il profita de ces communications; mais elles étaient trop peu nombreuses pour lui être d'une grande utilité. D'un autre côté, comme les chemins de terre ouverts entre les principales villes et les différens marchés n'étaient pas toujours en bon état, il devint plus commode et plus économique d'effectuer sur les rivières navigables le transport des denrées et des marchandises que produisait ou que

consommait l'intérieur du pays que ces rivières traversaient.

Tout le monde sait que le Nil et les canaux de l'Égypte ont servi, dès la plus haute antiquité, de communications par eau entre toutes les parties de cette région.

La navigation des fleuves et des rivières de l'empire romain semble avoir été, dans le siècle d'Auguste, un objet d'intérêt général. Strabon, contemporain de cet empereur, a rarement omis de dire jusqu'où les fleuves des pays qu'il décrit étaient navigables, à partir de leur embouchure (8). Ce géographe n'avait point voyagé dans les Gaules; et cependant il indique, parmi les principaux avantages naturels de cette partie de l'Europe, la facilité qu'on y trouvait à faire circuler, sur la plupart de se fleuves et de ses rivières, les denrées qu'on apportait du dehors ou qu'on exportait du d dans. Rien n'atteste mieux l'exactitude des n moires d'après lesquels il écrivait, que la p cision avec laquelle il fait connaître les rou que suivaient ces marchandises pour passe la Méditerranée dans la Manche, par le Rh et la Seine, et de la Méditerranée dans l'Oc par l'Aude et la Garonne. Ces routes so core aujourd'hui les plus courtes et les

faciles ; en un mot, l'itinéraire qu'en donne Strabon n'est véritablement que le tracé des canaux qu'on a exécutés depuis pour opérer la jonction de ces mers (9).

Les communications intérieures, au moyen de cours d'eau navigables, continuèrent d'avoir lieu dans les Gaules sous la domination romaine, et après la conquête des Francs, jusqu'au temps où la plupart de ces communications se trouvèrent obstruées d'une multitude de moulins à eau.

Quoique Vitruve et Pline (10) aient parlé de cette espèce d'usines, il paraît cependant que l'usage ne s'en répandit en Italie que sous les règnes d'Honorius et d'Arcadius (11). On sait, par les Capitulaires de Charlemagne, qu'il en existait en France antérieurement à l'année 798 de notre ère (12); mais le nombre en était réduit, pour ainsi dire, à celles qui avaient été construites pour l'usage des maisons royales. Les particuliers se servaient presque partout de moulins à bras. Ce ne fut que vers la fin du IXe siècle (13) et au commencement du Xe, que l'hérédité des fiefs ayant été définitivement consacrée, leurs possesseurs s'arrogèrent le droit d'établir sur les cours d'eau qui traversaient leurs domaines, des moulins ban-

naux, auxquels ils forcèrent leurs sujets roturiers d'apporter leurs grains à moudre ; et comme on ne pouvait mettre ces moulins en valeur qu'à l'aide d'une chute, c'est-à-dire en élevant les eaux au-dessus de leur niveau naturel par des chaussées qui en barraient le cours d'une rive à l'autre, la navigation devint impraticable sur la plupart des rivières, à moins qu'on n'eût réservé à travers ces chaussées un pertuis d'une certaine largeur, que l'on tenait à volonté ouvert ou fermé pour le passage des bateaux ou les besoins du moulin adjacent.

Les bateliers n'en obtenaient l'ouverture qu'en acquittant certains droits de péage presque toujours arbitraires, et perçus au profit des seigneurs. Ainsi le barrage des rivières était pour ces derniers la source d'un double revenu : celui de l'impôt auquel ils avaient assujetti leurs vassaux pour l'usage forcé de leurs moulins *banniers*, et celui provenant des péages que l'on exigeait des conducteurs de bateaux qui traversaient les chaussées de ces moulins.

De pareils obstacles, apportés à la navigation des rivières, élevaient sans doute considérablement le prix des denrées transportées par cette voie, et devaient en restreindre la consommation ; mais comme les exactions des péa-

gers sur la cargaison des bateaux ne pouvaient guère se commettre qu'au passage de certains pertuis, tandis que des voitures chargées de marchandises pouvaient être impunément pillées sur tous les points d'une route où elles se seraient engagées dans les domaines de grands seigneurs qui n'y faisaient exercer aucune police, et qui souvent profitaient eux-mêmes de ces pillages (14), il arriva que les rivières navigables restèrent pour ainsi dire les seules voies ouvertes au commerce intérieur.

Cependant il fallait amener sur leurs bords, à l'aide de charrois lents et difficiles, les denrées que l'on devait y embarquer; et comme la saison la plus propre à ces charrois était précisément celle des sécheresses, pendant laquelle la navigation se trouvait ordinairement suspendue, on fut obligé, au lieu d'expédier ces denrées par petites cargaisons à mesure de leur arrivée, de les tenir approvisionnées dans les entrepôts où elles se rendaient jusqu'à ce qu'on pût en compléter le chargement de bateaux plus grands, propres à naviguer dans l'intervalle de la saison des basses eaux à celle des débordemens.

Pendant que les désordres de la féodalité, poussés à leur comble, ne permettaient de

voyager qu'en caravanes, on conçoit que de grands bateaux, réunis en convois et conduits par des équipages plus nombreux, pouvaient opposer plus de résistance que de simples barques, aux exacteurs apostés sur différens points de leur route pour les mettre à contribution. Cela explique comment s'établit l'usage *des grandes nefs* (15), malgré l'inconvénient qu'elles avaient de ne pouvoir servir à transporter qu'en certains temps de l'année, aux divers centres de consommation vers lesquels on les dirigeait, les approvisionnemens de l'année entière.

Les changemens par lesquels notre état social s'est successivement amélioré auraient bien suffi pour procurer ultérieurement au commerce la sécurité dont il a besoin; mais il réclame aussi la célérité de ses expéditions, et ses intérêts exigent toujours que le cours des opérations auxquelles il se livre ne soit jamais interrompu par l'état des routes qu'il suit.

Il fallait donc que, dans toutes les saisons, les transports sur les rivières pussent s'effectuer indépendamment en quelque sorte de la hauteur de leurs eaux, c'est-à-dire, en d'autres termes, qu'il fallait obtenir par le secours de l'art ce que la nature refusait.

La découverte de la navigation artificielle devait opérer cette révolution. Or, cette découverte se réduit à l'invention des écluses à sas: invention que l'on a attribuée généralement à deux mécaniciens de Viterbe qui vivaient dans le XVe siècle, mais qu'on est aujourd'hui fondé à faire remonter à une époque plus ancienne, sans qu'on puisse néanmoins indiquer précisément le nom de son auteur (16).

De toutes les applications de l'hydraulique aux besoins de la société, celle qui consiste à faire remonter un bateau plus ou moins chargé, en faisant descendre de la même hauteur un certain volume d'eau, est incontestablement une des plus utiles. Quelles que soient les dissidences d'opinion qui se sont manifestées dans ces derniers temps en Italie, sur l'époque à laquelle les écluses à sas y furent inventées, tout le monde convient que Léonard de Vinci en construisit à la fin du XVe siècle sur le canal de Milan. Ce grand homme, aussi célèbre par la variété des connaissances qu'il possédait comme ingénieur, que par son rare génie comme peintre, étant venu en France avec François Ier, projeta, en Touraine (17), l'exécution d'un canal, qui aurait été navigable au moyen d'écluses semblables à celles qui existaient dans déjà le Mila-



lanais. La mort de Léonard empêcha de donner suite à ce projet; il était réservé à Henri IV et à Sully de faire construire en France, sur le canal de Briare (18), les premières écluses qu'on ait vues ailleurs qu'en Italie.

Environ 150 ans après, on multiplia ces sortes d'ouvrages sur le canal de Languedoc, l'un des plus beaux monumens du siècle de Louis XIV. Cependant, il faut l'avouer, les grandes dimensions données à ce canal et à ses écluses (19), en excitant la surprise, ou si l'on veut en commandant l'admiration, nous ont pendant long-temps fait prendre le change sur le véritable objet de la navigation intérieure. Parce que l'on a vu de très grandes barques franchir le col où se rattachent les Pyrénées et les Cévennes, on a cru qu'il n'y avait de canaux à ouvrir que là où l'on pourrait les rendre propres à recevoir des bateaux d'un aussi fort tonnage.

On a trop long-temps oublié que, pour offrir toute l'utilité qu'on en attend, un canal de navigation à point de partage ne doit être qu'une sorte de chemin fluide, sur lequel on peut faire mouvoir, aux moindres frais et avec la moindre dépense d'eau, les mêmes chargemens qui, distribués sur un nombre suffisant de voitures, ne pourraient être transportés sur les routes or-

dinaires qu'à l'aide de forces motrices cinquante ou soixante fois plus considérables.

C'est en Angleterre que les idées commencèrent à se rectifier à cet égard. Vers l'année 1758, le duc de Bridgewater, l'un des plus grands propriétaires de ce pays, voulant ouvrir à des mines de charbon qu'il possédait près de Manchester, un débouché qui leur avait manqué jusqu'alors, imagina de rendre navigables les rigoles où sont reçues les eaux d'épuisement de ces mines (20). Secondé dans ses vues par Brindley, simple constructeur de moulins, qu'il employa comme ingénieur, il parvint en peu d'années à augmenter considérablement sa fortune, tout en faisant baisser le prix d'un combustible dont l'industrie de ses compatriotes occasione une prodigieuse consommation. Il eut le bonheur de voir l'achèvement de ses grandes entreprises, et la satisfaction de recueillir de leur immense succès des avantages qui surpassèrent ses espérances. Alors commencèrent à se former à l'envi, dans toutes les parties de l'Angleterre, ces associations de propriétaires et de capitalistes qui, depuis un demi-siècle, ont été autorisées à ouvrir dans toutes les directions cette multitude de canaux navigables, à l'aide des-

bénéfices annoncés par les promoteurs de ce grand ouvrage (24).

Les progrès que l'on fait dans la pratique des arts utiles sont une source continuelle de nouveaux perfectionnemens. Ainsi les routes pavées, plus commodes que les chemins de terre, étendirent les moyens de communication que réclamait une civilisation plus avancée; les canaux de navigation ont à leur tour offert au commerce des voies plus faciles et plus économiques; enfin, on a prétendu, dans ces derniers temps, que les canaux eux-mêmes pouvaient être remplacés utilement par des chemins de fer, application toute récente faite à la surface du sol, d'un moyen de roulage usité depuis long-temps dans l'intérieur des mines et pour leur exploitation (25).

Le transport des divers minerais, depuis le lieu où ils sont détachés des roches qui leur servent de gîte jusqu'aux puits d'extraction, s'est d'abord effectué à bras d'homme sur de petits chariots ou sur des traîneaux appropriés. Afin d'en rendre le roulage ou le glissement plus facile, on l'opérait sur deux cours de madriers parallèles fixés solidement au sol des galeries. De semblables chemins, construits de solives et de madriers, sont

encore en usage dans quelques mines de houille de Silésie et dans la plupart des nôtres (26). Plus tard, on a recouvert ces pièces de bois de plaques de fonte, ou de bandes de fer qu'on a fini par employer seules; la dépense plus forte qu'entraîne leur premier établissement étant amplement compensée par une plus longue durée, et par le degré de perfection dont leur fabrication et leur pose sont susceptibles.

Les minerais, à leur sortie des puits d'extraction, et notamment les charbons de terre, qui ne subissent aucune préparation avant d'être livrés au commerce, étaient primitivement conduits par des voitures, et sur des chemins ordinaires, sinon jusqu'aux lieux de leur consommation, du moins jusqu'aux bords des rivières et des canaux où ils devaient être embarqués pour y arriver. On reconnut bientôt tout l'avantage qu'il y aurait à prolonger ces canaux jusqu'au pied des mines; le volume des eaux d'épuisement qu'on en retirait aurait été souvent plus que suffisant pour entretenir une navigation active sur ces ramifications du canal principal; mais, d'un autre côté, celui-ci étant presque toujours creusé fort au-dessous de la bouche des puits d'extraction, il aurait

fallu exécuter sur ces ramifications un certain nombre d'écluses, dont la construction eût exigé de grands frais et la manœuvre beaucoup de temps. On pouvait, à bien meilleur marché, établir au dehors de la mine des chemins de même espèce que ceux qui étaient pratiqués au dedans; c'est aussi le parti qu'on prit; et l'on dut se déterminer à le prendre d'autant plus promptement, que les chariots chargés de minerais n'ayant qu'à descendre sur un plan incliné depuis leur point de départ jusqu'au canal, pouvaient aisément, par l'excès de leur poids, servir à faire remonter sur le même plan, et sans le secours d'aucune autre force, les chariots qui devaient retourner à vide prendre de nouveaux chargemens sur la mine. Lorsqu'elle n'était pas très éloignée de quelque endroit où il se faisait une grande consommation de charbon, l'idée de continuer jusque là les chemins *à ornières de fer,* dont les plans inclinés étaient garnis, se présenta naturellement. Le succès qu'on obtint de cette nouvelle voie de communication fit bientôt saisir l'occasion d'en établir de semblables entre des points séparés par de plus grandes distances. Voilà comment les Anglais ont été conduits par degrés à construire ces sortes de

chemins. L'abondance de leurs mines de houille, le débit assuré de ce combustible, et le bas prix auquel ils ont fait descendre la fonte de fer et le fer forgé par le perfectionnement de leurs procédés métallurgiques et de leur industrie manufacturière, rendaient en effet chez eux l'usage de ces chemins plus profitable que partout ailleurs.

Il ne faut donc pas s'étonner de l'avance qu'ils ont prise dans l'adoption de ces chemins, et de leur priorité dans la publication qui a été faite des procédés du nouvel art qui consiste à les exécuter.

On avait commencé, comme nous l'avons déjà dit, par faire rouler des voitures sur des madriers de bois; et l'on avait remarqué qu'un cheval pouvait y traîner un poids de 42 quintaux, tandis qu'il n'en traînait que 17 sur un chemin pavé (27) : c'était déjà un assez grand avantage. Il s'accrut encore par le parti qu'on prit de recouvrir ces madriers de barres de fer; mais on ne leur substitua définitivement des *rouages* ou des *ornières* entièrement de fonte que vers l'année 1738 (28).

Ce fut d'abord des barres en forme de planches (*rail-ways*), posées de champ sur des pièces de bois transversales. Les roues des voi-

tures, pour être maintenues sur ces barres, avaient leurs jantes garnies intérieurement d'un rebord (29).

On remplaça ensuite ces barres de champ par des bandes posées à plat (*tram-ways*), portant un épaulement intérieur pour empêcher les roues de dévier. Ces roues, comme on voit, pouvaient être à jantes plates, et semblables à celles des voitures ordinaires (30).

Enfin, on imagina de supprimer cet épaulement et de former, au milieu de ces barres, une saillie ou languette destinée à être reçue dans une gorge pratiquée à cet effet au pourtour de la circonférence des roues. Cette espèce d'ornière saillante (*edge-rail*) fut employée pour la première fois, en 1789, par M. William Jessop, à Longhborough (31).

La substitution de barres de fonte à des pièces de bois, dans la construction des chemins à ornières, était évidemment une grande amélioration. On a cru depuis en trouver une nouvelle dans l'emploi du fer forgé en remplacement de la fonte. Le premier essai en a été fait en 1815, aux mines de charbon du lord Carlisle, dans le duché de Cumberland (32). Le fer forgé, plus flexible que la fonte, peut être employé en barres plus longues, ce qui permet de diminuer

le nombre des joints dans la longueur d'un même cours d'ornières; mais cette flexibilité même ne présente-t-elle pas quelques inconvéniens au roulage? D'un autre côté, la plus grande cherté du fer forgé doit être prise en considération quand on le compare à la fonte. Le résultat de cette comparaison laisse encore quelques doutes sur les avantages définitifs que présente l'emploi de l'une ou de l'autre matière, et les avis des ingénieurs sont encore partagés.

Dans l'origine des chemins à ornières, on avait espéré de pouvoir y faire passer des voitures ordinaires de roulage; mais le poids excessif de leurs chargemens fut un obstacle invincible à leur emploi sur ces chemins. Il fallut construire des voitures exprès. On conserva des roues de bois à ces nouvelles voitures; mais on reconnut bientôt la nécessité de les remplacer par des roues en fonte. Quoiqu'on ignore l'époque précise à laquelle cette substitution eut lieu pour la première fois, on sait positivement que, dès l'année 1754, elle avait déjà été faite (33).

L'espèce de frottement qui retient les roues des chariots dans leurs voies sur les chemins pavés, disparaît presque entièrement sur les

ornières de fer, à cause du poli et de la régularité de leur surface. Mais cette circonstance, qui favorise la force motrice quand les chemins de fer sont de niveau ou d'une pente extrêmement faible, tourne au contraire au détriment de cette force à mesure que l'inclinaison de ces chemins devient plus considérable. Alors, en effet, le frottement cessant de retenir le fardeau sur le plan incliné qu'il parcourt, il faut que la force motrice surmonte en totalité la pesanteur relative de ce fardeau, laquelle est, comme on sait, à sa gravité naturelle, comme la hauteur du plan incliné parcouru est à sa longueur. De telle sorte, par exemple, que l'inclinaison du chemin étant du 50°, il faudrait, pour y traîner un certain chargement avec une vitesse donnée, employer une force à peu près quintuple de celle qui serait capable de le traîner avec la même vitesse sur un plan horizontal.

On voit d'après cela combien il importe d'établir les chemins de fer de niveau, sauf à racheter les inégalités du terrain par des plans inclinés placés de distance en distance, pour être franchis à l'aide d'une force subsidiaire qui leur soit spécialement appliquée.

Nous avons dit comment, pour éviter de

construire des écluses trop rapprochées les unes des autres sur un embranchement de canal que l'on aurait conduit jusqu'à la bouche d'une mine ou à l'entrée d'une carrière en exploitation, on fit usage de plans inclinés garnis d'ornières de fer. Le même moyen était évidemment applicable dans quelques localités, sur des canaux qui manquaient du volume d'eau nécessaire à la manœuvre de leurs écluses (34). On imagina donc d'en joindre deux biefs consécutifs par un plan incliné, le long duquel on faisait monter ou descendre les bateaux destinés à passer de l'un de ces biefs dans l'autre. Ces bateaux étaient placés, à cet effet, lorsqu'ils sortaient de l'eau, sur des traîneaux rendus propres à parcourir les plans inclinés dans les deux directions; ce procédé, que l'on assure être usité depuis fort long-temps à la Chine (35), a été introduit en Angleterre, en 1788, par M. William Reynolds, aux forges de Ketley (36).

Lorsque la masse des denrées qui descendaient du bief supérieur était d'un plus grand poids que celle des denrées qui remontaient du bief inférieur, et ce cas se rencontrait presque toujours dans l'exploitation des carrières et des mines de houille, on ne manqua pas d'éta-

blir aussi, sur le plan incliné du canal, deux chemins parallèles pour les bateaux qui descendaient en charge, et pour ceux qui remontaient à vide; la descente des uns opérait l'ascension des autres. Quand, au contraire, les bateaux chargés venaient de la partie inférieure du canal, il fallait, pour les élever le long du plan incliné qu'ils avaient à franchir, ajouter au poids des bateaux qui descendaient sans chargement quelque moyen auxiliaire, soit la force de l'homme appliquée à des treuils et à des engrenages, soit celle des chevaux attelés à des manéges, soit enfin celle de machines à vapeur établies au sommet du plan.

Observons ici qu'on n'a eu recours à l'usage des plans inclinés sur les canaux navigables que dans les circonstances assez rares d'une disette d'eau presque absolue, ou d'une chute excessivement rapide. Leur emploi est, en quelque sorte, une dernière ressource dans la navigation intérieure. Il n'en est pas ainsi sur les chemins de fer : ils y sont indispensables, et forment toujours une certaine partie du développement total de ces chemins; mais suivant que leur pente est plus douce ou plus rapide, on les franchit à l'aide de chevaux de renfort que l'on attelle à une file en-

tière de chariots; ou bien l'on divise cette file en plusieurs portions que l'on fait monter les unes après les autres avec le même attelage; ou bien enfin, on dispose au sommet de ce plan incliné des machines fixes, du même genre que celles employées pour faire remonter les bateaux d'un bief dans l'autre sur les canaux de petite navigation.

M. S. Cooke établit pour la première fois, en 1808, une machine à vapeur fixe sur un chemin de fer, dans le comté de Durham, pour faire passer les charbons de la mine d'Inspeth, sur la grande route de Durham à Newcastle. Depuis cette époque, le même moyen a été fréquemment employé dans le voisinage de cette dernière ville (37).

Après avoir appliqué les machines à vapeur à la remonte des voitures sur les plans inclinés des chemins à ornières, on revint à l'idée qu'on avait eue autrefois, de substituer ces machines aux chevaux pour opérer le mouvement de ces voitures sur des portions de route horizontale. Dès l'année 1789, le célèbre Watt s'était occupé de cet objet, sur l'invitation que lui en fit le docteur Robison, alors étudiant à l'université de Glascow; mais il ne paraît pas qu'il ait donné aucune suite à ses recherches.

Il faut en effet, dans le système de machines à vapeur de Watt, avoir à sa disposition un réservoir d'eau froide pour effectuer la condensation de la vapeur et le mouvement du piston. Or, la difficulté de transporter un pareil réservoir, et celle d'y remplacer l'eau dépensée pour produire cet effet, sont, pour ainsi dire, insurmontables. Il fallait donc imaginer un autre système de machines, dans lequel on fût dispensé d'opérer le jeu de leur piston par une injection d'eau froide. MM. A. Vivian et R. Trevitick obtinrent une solution de ce problème en 1802. Leur machine à haute pression, dans laquelle la vapeur qui a exercé son action s'échappe dans l'atmosphère sans avoir été condensée (38), fut appliquée par eux au mouvement des voitures sur les chemins de fer, et reçut le nom de *locomotive;* les appareils de cette machine ayant été perfectionnés, en 1811 (39), par M. Blenkinsop, elle fut employée sur les chemins de fer qui servent à l'exploitation des nombreuses mines de charbon que l'on voit aux environs de Leeds et de Wakefield, et elle l'a été successivement en différens endroits de l'Angleterre, après avoir reçu, depuis 1813 jusqu'en 1815, de nouvelles améliorations.

Les chemins de fer s'étaient déjà multipliés

sans qu'aucun ingénieur eût entrepris d'en soumettre les avantages et les inconvéniens à une discussion rigoureuse, ni de donner des règles pour leur établissement : dans ce nouvel art, comme dans tous ceux qui tendent à accroître la prospérité des nations ou les commodités de la vie sociale, la pratique a devancé la théorie (40).

Le premier ouvrage où l'on ait traité des chemins de fer avec quelque étendue sous le rapport théorique, a été composé par M. le chevalier François de Gerstner, professeur de Mécanique à l'Académie des arts de Bohême, et directeur des constructions hydrauliques de ce royaume. C'est cet ouvrage, qui a paru à Prague en 1813, dont nous mettons aujourd'hui la traduction sous les yeux du public.

On avait fait revivre en 1807 une ancienne idée, conçue, dès le XIV[e] siècle, sous le règne de l'empereur Charles IV, de réunir par un canal navigable la Moldaw et le Danube. M. Gerstner fut, à cette occasion, chargé par la société hydrotechnique de Bohême d'examiner, avec M. le baron de Pakassy, conseiller des bâtimens, les divers projets de ce canal qui avaient été présentés en différens temps. Cet examen le conduisit à composer un mémoire sur les

chariots de roulage, et sur la question de savoir dans quel cas il est préférable de construire entre deux points donnés des routes ordinaires, des chemins de fer, ou des canaux navigables. Cette question y est envisagée sous un point de vue très général; l'auteur commence par rechercher les différentes résistances qui s'opposent au roulage des voitures sur les routes pavées. Il en donne les expressions analytiques, qu'il déduit de principes généralement admis; il tire de ces expressions les conséquences les plus utiles, et les plus immédiatement applicables à la pratique. Il donne ensuite, d'une manière approximative, le rapport qui existe entre la force de traction d'un cheval et la vitesse avec laquelle il se meut. Cette première partie de l'ouvrage est terminée par la comparaison des résultats du calcul, à ceux des expériences qui ont été faites en France par le comte de Rumfort, pour déterminer l'effort des chevaux quand ils traînent la même charge sur différentes espèces de chaussées (41).

Avant de passer aux chemins de fer, M. Gerstner rapporte quelques essais, à l'aide desquels il entreprit d'assigner la résistance qu'une voiture éprouve à rouler sur des ornières ou des

barres métalliques. Il démontre que cette résistance est due principalement à divers frottemens; ayant ensuite égard à cette résistance, il parvient à une expression générale des frais de transport, et assigne les conditions d'existence du *minimum* de ces frais.

Les dimensions des roues des voitures ne sont point arbitraires pour obtenir ce *minimum* de dépense dans les frais de roulage, sur quelque chemin que ce soit : mais il importe surtout d'assigner ces dimensions lorsque les voitures sont destinées à parcourir des chemins à ornières. M. Gerstner s'est livré à cette recherche; et comme les frottemens contre les essieux forment une partie notable de la résistance que les chariots éprouvent à se mouvoir, il propose de diminuer ces frottemens par l'emploi d'un moyen mécanique qu'il désigne sous le nom de *doubles roues*. Pour s'en former une idée, il faut concevoir que les roues dont l'essieu supporte en tout ou en partie le poids du chariot auquel elles sont adaptées, au lieu de reposer et de rouler immédiatement sur le sol, reposent sur le moyeu de roues placées au-dessous d'elles; ce sont celles-ci, dont les essieux sont liés d'une manière inébranlable à celui des roues supérieures, qui se meuvent



sur les ornières de fer. Il est clair que ces deux roues, placées ainsi l'une au-dessus de l'autre, tournent nécessairement en sens contraire et présentent une sorte d'engrenage; la résistance provenant du frottement agit à la circonférence de l'essieu de la roue d'en haut, tandis que la puissance destinée à vaincre cette résistance agit à la circonférence de la roue d'en bas, dont le moyeu fait l'office de pignon. Ainsi la résistance est en raison composée du rapport entre les diamètres de l'essieu et de la roue supérieurs, et du rapport entre les diamètres du moyeu et de la roue inférieurs; d'où il est aisé d'apprécier l'accroissement que la puissance peut acquérir par l'emploi de ces roues superposées.

L'auteur ayant égard à l'impression que le poids de la voiture chargée peut occasioner, tant sur le moyeu de la roue d'en bas que sur les barres métalliques qui lui servent de voie, parvient à une expression de la force de traction des chevaux, d'où il conclut qu'un cheval pourrait traîner jusqu'à 900 quintaux sur un chemin de fer horizontal, en supposant cette charge placée dans un chariot qui aurait quatre paires de roues disposées entre elles comme il vient d'être expliqué.

Il s'arrête ensuite à rappeler quelques théorèmes généralement connus sur la résistance des solides, théorèmes dont l'application lui fournit la solution de deux questions importantes. La première consiste à déterminer le nombre des rais d'une roue en fer d'un diamètre donné, tel qu'elle offre en même temps les propriétés du *maximum* de résistance et du *minimum* de masse. La seconde question a pour objet d'assigner l'emplacement le plus avantageux des roues d'un chariot dont la longueur est donnée, ainsi que le meilleur arrimage de son chargement.

Après avoir analysé les avantages et les inconvéniens des chemins de fer, M. Gerstner se propose de signaler les avantages et les inconvéniens des canaux de navigation. C'est encore en Angleterre qu'il prend les exemples qu'il cite; il rappelle qu'ordinairement un cheval y traîne sur un canal un poids de 600 quintaux, avec une vitesse de 3 pieds et demi par seconde, tandis qu'un cheval ne peut traîner avec la même vitesse qu'un poids de 15 à 20 quintaux sur une route ordinaire, et de 90 à 100 quintaux sur un chemin de fer. Mais il ajoute, en prenant toujours dans le même pays les autorités sur lesquelles il s'appuie, que la dépense

de première construction d'un canal est au moins triple de la dépense de première construction d'un chemin de fer. Au surplus, en comparant les grandes routes, les canaux de navigation et les chemins à ornières, sous le rapport des dépenses qu'entraîne leur établissement, aux revenus qu'on peut en retirer, l'auteur fait voir que chacune de ces trois voies de communication devient, suivant les circonstances, préférable aux deux autres. Enfin, il applique au projet qu'il était spécialement chargé d'examiner les conséquences de ses raisonnemens; et il entreprend de prouver qu'il convient mieux de pratiquer un chemin de fer, entre les bassins de la Moldaw et du Danube, que de les réunir par un canal navigable.

Diverses opérations de mécanique usuelle, qui n'avaient point été traitées jusqu'alors d'une manière aussi rigoureuse, ont été, comme on voit, soumises au calcul par M. Gerstner. Quoique l'ouvrage que nous lui devons se montre quelquefois sous l'aspect un peu trop prononcé d'un plaidoyer en faveur des chemins de fer, il n'en formera pas moins toujours un chapitre intéressant de la théorie des transports. Une des conséquences nécessaires des

propositions dont il contient la démonstration, c'est que le perfectionnement des différens véhicules au moyen desquels les transports s'effectuent, doit avoir lieu en même temps que l'amélioration des diverses espèces de chemins sur lesquels ces véhicules sont destinés à être mis en mouvement. Voilà pourquoi il s'est arrêté à décrire une nouvelle espèce de chariot approprié aux chemins à ornières, et à calculer les avantages que l'on obtiendrait de son emploi.

M. Gerstner est, depuis long-temps, connu en Europe comme physicien et comme géomètre (42). Nous sommes fondés à croire que la traduction que nous publions de son Mémoire contribuera à étendre sa réputation parmi nous; car si nos ingénieurs profitent de son travail sous le rapport de l'art, d'autres personnes encore pourront profiter des vues d'économie publique qu'elles y trouveront développées. Les paragraphes qui le terminent offrent à leurs méditations d'importantes vérités, que l'administration de tout pays ne doit jamais perdre de vue.

Quoique le Mémoire de M. Gertsner ait été publié dès l'année 1813, il ne paraît pas que les ingénieurs anglais en aient eu connaissance : du moins nous ne l'avons trouvé cité

c..



dans aucun des ouvrages qui ont paru depuis et dont il nous reste à parler.

Le premier de ces ouvrages est celui dans lequel M. Henri Palmer, ingénieur civil, a proposé d'établir les chemins de fer d'après un nouveau principe. Avant de décrire le système de construction qu'il en dérive, il se livre à quelques réflexions très justes sur l'usage de ces chemins; il observe que leur utilité se manifeste spécialement lorsqu'ils ouvrent une communication de l'intérieur du pays avec un canal navigable, et que le transport des marchandises s'y fait en descendant. Quand au contraire ce transport doit s'y faire en montant, loin qu'il y ait quelque motif de préférer ces chemins de fer aux routes ordinaires, il peut arriver que celles-ci présentent plus de facilités au roulage (43).

M. Palmer remarque avec raison qu'il existe une différence essentielle entre les chemins de fer et les canaux (44). La résistance que les bateaux éprouvent à se mouvoir sur ceux-ci est indépendante du plus ou moins de perfection avec laquelle ils ont été exécutés, tandis que la résistance qu'éprouvent les voitures sur les chemins de fer dépend de l'art avec lequel ils sont établis : de sorte que ce n'est pas tant la

nature que le bon emploi des matières dont ils sont formés, qui leur donne sur les routes ordinaires plus ou moins de supériorité. Il est évident, en effet, que si des chariots dont les roues sont parfaitement cylindriques et bien polies sont mis en mouvement sur des barres inflexibles bien dressées et exactement parallèles entre elles, on n'aura d'autre résistance à vaincre que celle qui provient du frottement des roues contre leurs essieux. Les chemins de fer et les chariots qui leur sont appropriés forment ainsi une seule et même machine, dont il faut perfectionner simultanément toutes les parties.

Cependant, quelques précautions que l'on prenne pour les rendre aussi parfaites qu'elles sont susceptibles de le devenir, des causes accidentelles peuvent souvent augmenter les résistances qui ralentissent le roulage : lors, par exemple, que les ornières de fonte sont formées de bandes plates à rebords, il importe que leur surface soit entretenue parfaitement nette de poussière et de boue.

M. Palmer cite à ce sujet des expériences faites par lui-même à Cheltenham (45). Un chariot chargé de 5264 livres ayant été placé sur des barres de cette espèce parfaitement net-



[illegible]

[illegible] train de voitures attelé de [illegible] chevaux. [illegible] de [illegible] la résistance [illegible] [illegible] il est probable que la poussière ne l'aug-[illegible] pas davantage ; ainsi, le lavage des or-[illegible] par ce moyen, ne paraît pas très utile.

Nous ne devons point omettre de citer ici [illegible] expérience qui prouve l'influence due au [illegible] de poli et à la bonne fabrication des [illegible]ssieux. Ceux d'un chariot qui pesait 5720 liv. [illegible] son chargement ayant été tournés avec [illegible], on trouva que la résistance provenant du frottement à leur pourtour équivalait à un poids de 60 liv., tandis qu'elle s'élevait à 110 liv., c'est-à-dire à près du double, lorsque ces essieux n'avaient été ni tournés ni polis (46).

M. Palmer, à l'aide d'un dynamomètre de son invention, fit plusieurs expériences sur différens chemins de fer. Il a trouvé (47) que sur un chemin de niveau dont les ornières sont formées de bandes plates, le rapport de la résistance au fardeau mis en mouvement était environ de 1 à 60, tandis que sur des ornières saillantes ce rapport était de 1 à 170. De telle sorte qu'un cheval ordinaire, dont on évalue la force de traction à 150 livres *avoir du poids,* lorsqu'il se meut avec une vitesse de 2 milles $\frac{1}{2}$ par heure, pouvait traîner, dans le premier cas, 9000 livres environ, tandis que, dans le second, il pouvait en traîner jusqu'à 25500.

Ces préliminaires posés, l'auteur passe à la description du projet de chemin de fer qu'il a conçu. Il se réduit à une simple ornière de fer, soutenue à 30 pouces environ au-dessus du sol sur des pièces verticales de fonte qui y sont enfoncées. Deux essieux parallèles, solidement assemblés entre eux dans un plan horizontal, portent chacun en leur milieu une roue destinée à se développer sur l'ornière qui forme le chemin. Le prolongement de ces essieux en dehors du moyeu des roues soutient de chaque côté un caisson prismatique de tôle de fer, où



le chargement est placé comme dans les deux plateaux d'une balance (48).

On voit que ce chargement, au lieu d'être porté sur quatre roues, ne repose que sur deux seulement. Les frottemens s'atténuent par cette disposition; aussi M. Palmer a-t-il trouvé que le rapport de la résistance à la charge se réduisait alors à celui de 1 à 300, et qu'un seul cheval de 150 livres de force pouvait traîner 45 milliers avec une vitesse de 2 milles $\frac{1}{2}$ par heure. Par cette disposition, le centre de gravité de la charge se trouve toujours au-dessous de ses points de suspension, ce qui doit en prévenir le versement, si l'on a soin, ce qui est d'ailleurs très facile, de mettre les deux parties de cette charge en équilibre de part et d'autre de la voie.

Un chemin de fer, ainsi réduit à une seule ornière, peut, sans difficulté, être établi sur l'un des côtés d'une route ordinaire ou sur les bords d'une rivière; son établissement serait probablement moins dispendieux que celui d'un chemin formé de deux cours de barres parallèles. A la vérité, la force de traction ne peut jamais s'exercer parallèlement à la direction de la ligne parcourue; il faut que les chevaux agissent obliquement sur les convois qu'ils traînent

comme cela arrive lorsqu'ils sont employés au hallage des bateaux ; mais on peut diminuer autant qu'on le veut ce degré d'obliquité, et réduire ainsi presqu'à rien la perte de force qui en résulte.

Quoi qu'il en soit, les chevaux sont évidemment les seuls moteurs applicables au système de chemins de M. Palmer. Ils marchent sur une petite chaussée pratiquée exprès le long de l'ornière qui soutient les caissons, ou même sur un simple chemin de terre. Il n'y a pas là de dépense à faire, et cette économie milite en faveur de ce système; mais il faudrait y renoncer, si l'on voulait que le roulage s'effectuât sur cette espèce de chemin à l'aide d'une machine à vapeur locomotive. Elle ne pourrait, en effet, se mouvoir elle-même qu'autant qu'on la placerait sur un second chemin de fer à double ornière, établi à côté du premier : or, les frais de ce second chemin pourraient bien surpasser les bénéfices que l'adoption du système proposé par M. Palmer aurait fait espérer.

L'adoption de ce système ne tendrait, comme on voit, à rien moins qu'à exclure les machines à vapeur locomotives de l'usage auquel on les avait destinées, et par conséquent à rendre vaine toute spéculation qui aurait pu être fon-

dée sur l'emploi de ces machines. Les intérêts particuliers, déjà compromis dans ces spéculations, avaient besoin d'être rassurés ; aussi vit-on paraître à Londres, immédiatement après la publication de l'ouvrage de M. Palmer, un autre écrit ayant pour objet, non-seulement de faire valoir les machines locomotives, mais encore d'en recommander l'usage exclusif (49). L'auteur commence par trancher d'un seul mot la question qui s'est élevée sur les avantages et les inconvéniens des chemins à ornières, comparés aux canaux de navigation : il avance que ceux-ci n'ont été en Angleterre que l'occasion d'un mauvais emploi de capitaux, et conseille aux compagnies qui en ont la propriété de s'empresser d'établir des chemins de fer parallèles à ces canaux, afin de prévenir une concurrence qui amènerait infailliblement leur ruine. Du reste, il ne borne pas au transport du charbon de terre l'usage des chemins à ornières, il l'étend au transport de toutes les denrées qui servent à l'approvisionnement des villes, et notamment à celui du poisson frais et des huîtres. En conséquence, il propose aussi de substituer des chemins de fer à toutes les grandes routes qui traversent l'Angleterre.

A l'appui de ses opinions, que la partialité

et l'exagération nous semblent caractériser, l'auteur de cet écrit cite néanmoins quelques faits qui nous ont paru dignes d'attention. Il rapporte, par exemple, que le nombre des chevaux employés en Angleterre sur les chariots de roulage, les voitures publiques et les chaises de poste, s'élève à 500 mille; que le prix moyen d'achat de chacun d'eux est de 20 livres sterl., et leur entretien annuel de la même somme; que la durée des chevaux de poste n'est généralement que de quatre ans, et celle des chevaux de roulage de six.

D'un autre côté, il évalue à 3,000,000 de liv. sterl. le prix de 10,000 machines à vapeur par lesquelles les 500,000 chevaux de trait pourraient être remplacés. C'est 300 liv. sterl. par machine de la force de 5 chevaux chacune.

Ainsi la force d'un cheval, exprimée en puissance de vapeur, reviendrait à 60 livres sterling, en tant seulement qu'elle proviendrait de l'acquisition de l'appareil, et sans compter ni les intérêts des capitaux employés à cette acquisition, ni les frais de réparation et de renouvellement, ni la valeur du combustible nécessaire à la production de la force motrice.

L'auteur trouve enfin, dans les énormes dépenses que la construction et les réparations

[illegible]

[illegible] et quand ils sont mis à exécution, il est tout simple que ceux qui en ont [illegible] la dépense veuillent en conserver les produits. Ainsi les compagnies propriétaires de certains canaux n'ont pas vu sans quelque inquiétude qu'il fût possible, peut-être même

avantageux dans quelques circonstances, d'établir des chemins de fer parallèlement à ces canaux. Ajoutons que la faveur avec laquelle des procédés nouveaux sont quelquefois accueillis, a sans doute encouragé les promoteurs de ces chemins à les préconiser outre mesure. Les nombreux journaux consacrés, dans la Grande-Bretagne, à faire connaître les progrès de l'industrie, ont, pendant quelque temps, offert l'image d'une espèce de lice, où combattaient les uns contre les autres, les partisans des anciens canaux et ceux des nouveaux chemins à ornières. Pendant que le public s'éclairait des discussions plus ou moins vives qui s'étaient élevées entre eux, une société savante de la Haute-Écosse (51), pénétrée de l'importance de la matière, proposa, en 1818, un prix de 50 guinées, pour être décerné, à la fin de l'année suivante, au meilleur mémoire qui lui serait présenté « sur les chemins de fer propres » au transport des denrées nécessaires aux » besoins et aux commodités de la vie. Les » concurrens devaient s'attacher à montrer » jusqu'à quel point ces chemins peuvent servir à l'usage commun du pays; ils devaient » indiquer les moyens de faire franchir par les » chariots chargés les proéminences du sol qui

» se [illegible] dans leur direction : ils de-
» vaient rechercher si [illegible] du chemin
» [illegible] si les [illegible] peuvent être cons-
» truites de telle sorte qu'il soit possible de faire
» passer [illegible] sur une
» route ordinaire, et réciproquement. Enfin, les
» mémoires, accompagnés des dessins indis-
» pensables à leur parfaite intelligence, de-
» vaient contenir un court exposé des circons-
» tances qui ont amené l'usage des chemins
» de fer dans la Grande-Bretagne, et l'indica-
» tion succincte des plus remarquables de ceux
» qui y ont été construits. »

En conséquence de cet appel, la société reçut un certain nombre de Mémoires, et de modèles variés ([illegible]) ; mais ni les uns ni les autres ne remplirent complètement ses vues, et elle jugea convenable de partager la valeur du prix entre les divers concurrens. Demeurant d'ailleurs convaincue de l'utilité de cette question dans l'intérêt national, elle crut devoir la proposer pour sujet d'un nouveau concours dont les résultats ne la satisfirent point encore, ce qui la détermina à partager une seconde fois entre les auteurs des mémoires qui lui avaient été envoyés, le prix qu'elle aurait voulu décerner au meilleur d'entre eux.

Cependant, comme la plupart de ces mémoires présentaient des vues utiles, elle chargea l'un de ses membres, M. Robert Stevenson, habile ingénieur civil, de les examiner avec soin et de les publier, soit en entier, soit par extrait, avec telles observations qu'il croirait devoir y ajouter.

Le rapport de M. Robert Stevenson contient beaucoup de détails que les limites de cette introduction ne nous permettent pas d'y insérer. Il suffit à notre objet d'exposer des vues générales et de suppléer aux expériences de M. Gerstner, faites sur de trop petits modèles, par des observations plus en grand recueillies en différens endroits de l'Angleterre, à dessein d'assigner le rapport de la force de traction aux résistances qu'elle doit vaincre sur les chemins de fer, suivant leurs différens degrés d'inclinaison.

Ainsi M. Scott, l'un des concurrens, cite des expériences faites près de Longborough, en présence d'un comité de la Société des Arts (53); desquelles expériences il résulte qu'un cheval de taille ordinaire peut traîner un poids de 50 tonneaux en descendant le long d'un chemin de fer incliné d'un centième, et 7 tonneaux seulement quand il remonte le même chemin.

Si l'on compare ce résultat à ceux que l'on obtenait en 1811, avant que les chemins de

ter eussent acquis le degré de perfection qu'on leur a donné depuis, on sera frappé de l'économie de forces de traction que leur amélioration a procurée.

En effet, on observait alors que sur un chemin à ornières de 55 pieds de pente par mille, ce qui correspond aussi à une inclinaison d'un centième, un cheval ne traînait que 12 ou 15 tonneaux à la descente, et 4 seulement à la montée (54).

Quant au mode de distribution de pentes des chemins à ornières, M. Scott est d'avis que ces chemins doivent être formés d'une série de paliers de niveau, séparés les uns des autres par des plans inclinés qui ne doivent pas avoir plus de 8 pieds de chute, comme les écluses destinées à racheter la pente des canaux de navigation. [illegible] cet auteur préfère, pour la construction d'une voie en fer, l'emploi des ornières plates à celui des ornières saillantes. La possibilité de faire usage sur les premières des mêmes voitures qui roulent sur les chemins ordinaires lui paraît justifier suffisamment cette préférence.

M. [illegible] [illegible] des autres [illegible] [illegible] qu'un chemin de fer [illegible] [illegible]

tales et de plans inclinés. Mais on lui doit, à ce sujet, une remarque qui complète, entre les canaux navigables et les chemins de fer, l'analogie que M. Scott n'avait fait qu'entrevoir. L'avantage de répartir sur un certain nombre de petits chariots, un chargement qui avait d'abord été placé sur une seule voiture étant supposé généralement reconnu, M. Robertson observe qu'il convient pareillement de diviser les plans inclinés qui rachètent la pente des chemins de fer, en petites parties, d'un pied de chute ou de moins encore; car, dit-il, ces petits plans peuvent, sans le secours d'aucune machine, être franchis par un convoi de chariots qui les remonteraient un à un; de telle manière que ces chariots étant attachés les uns aux autres par des chaînes ou des cordes d'une longueur précisément égale à celle d'un de ces plans, il ne se trouverait jamais en même temps sur l'un d'entre eux qu'un seul de ces chariots : ceux qui formeraient la tête du convoi étant déjà sortis de ce plan incliné, et ceux qui en formeraient la queue n'y étant pas encore entrés. Si, par exemple, la charge d'un cheval est répartie sur six chariots, le cheval n'aura jamais à élever que la sixième partie de son chargement; les cinq autres parties continuant de cheminer

sur des paliers horizontaux. Lorsque la charge totale sera répartie sur un plus grand nombre de voitures, tout restant d'ailleurs dans le même état, on conçoit que la montée du plan incliné sera encore rendue plus facile.

C'est ainsi que l'on parvient à économiser l'eau et le temps sur les canaux de navigation lorsque la pente en est rachetée par des écluses consécutives à petites chutes, et que les transports des denrées s'y effectuent par des convois de bateaux d'un tonnage moindre que celui des bateaux ordinaires (56).

Suivant M. Robertson, un cheval de trait est capable d'exercer sur les routes à ornières, suivant qu'on en varie les pentes successives, un effort beaucoup plus grand que celui qui est nécessaire pour élever verticalement avec la même vitesse un poids de 80 livres, effet par lequel la force d'un cheval est évaluée ordinairement. D'un autre côté, les aspérités provenant des pierres et des graviers répandus sur les chemins, occasionent aux chevaux une fatigue beaucoup plus grande que celle qui est occasionée par le fardeau qu'ils sont obligés de traîner ; d'où il suit que les avantages d'un chemin de fer sur une route ordinaire sont moins dus au dressement parfait des barres qui en for-

ment la voie, qu'au poli de la surface de ces barres.

S'appuyant d'observations qui auraient fait reconnaître qu'un cheval ne peut traîner sur des ornières plates à rebord qu'un poids de 5 tonneaux, tandis qu'il est capable d'en traîner 10 sur des ornières saillantes, M. Robertson conseille l'emploi exclusif de celles-ci; il recommande en même temps de les fabriquer en fer forgé.

La grandeur des roues sur lesquelles les chariots doivent être montés, ne doit exercer aucune influence sur le plus ou moins de facilité du tirage, pourvu que leur diamètre et celui de leurs essieux conservent entre eux le même rapport. Celui de 27 pouces à 2 pouces $\frac{1}{4}$, ou de 12 à 1, qui s'est établi par l'usage, est évidemment trop faible; et l'on pourrait, en apportant plus de soins à la fabrication des essieux, substituer à ce rapport celui de 27 à 1. On augmenterait considérablement par là l'effet utile du même cheval, puisqu'il deviendrait capable de traîner un chargement plus que double.

Quels que soient les motifs qui ont fait adopter l'usage des roues en fonte, M. Robertson voudrait qu'on pût en revenir à celui des roues en bois qui seraient plus légères, et, selon lui,

plus durables et à meilleur marché. Il insiste sur les bons effets qu'on a obtenus de la substitution des petits chariots aux grandes voitures, et attribue la supériorité décidée des premiers à la réduction du diamètre de leurs essieux. Il pense d'ailleurs, avec raison, qu'au lieu de donner à ces chariots la forme d'une pyramide tronquée dont la base inférieure est plus petite que la base supérieure, il conviendrait de leur donner une forme inverse, ce qui augmenterait évidemment leur stabilité.

Si au lieu de s'assujettir à former un chemin de fer de parties de niveau et de plans inclinés, on lui fait suivre, par de légères pentes et contrepentes, les inflexions du sol, il est certain qu'on obtiendra une économie notable dans la dépense première de son établissement. M. Robertson regarde aussi comme certain que les chevaux de trait n'en seraient pas plus fatigués, attendu qu'ils se délassent par les changemens qu'ils éprouvent dans la direction et l'intensité de leur action musculaire.

Cet ingénieur, rejetant absolument l'opinion de M. Scott, est d'avis que les chemins de fer et les chemins ordinaires ne peuvent jamais servir aux mêmes voitures, qui passeraient des uns sur les autres. Il faudra se réduire à établir,

sur l'un des côtés d'une grande route, un chemin à ornières, qui, par ses dimensions spéciales, sera rendu propre à recevoir au besoin de grands chariots de roulage, comme cela s'est déjà pratiqué près du port Dundas.

Enfin, en se résumant, M. Robertson annonce la possibilité de construire des chemins de fer, qui soient plus utiles au commerce que les canaux de petite navigation, non pas seulement à cause de la moindre dépense de leur construction, mais encore parce qu'ils ne seront point sujets aux interruptions de service que peuvent occasioner la sécheresse de l'été ou les gelées de l'hiver. Il va plus loin, et il avance que l'on peut mettre en activité sur les chemins de fer, pour le transport des voyageurs, des voitures publiques qui entreraient en concurrence avec les coches d'eau usités sur les canaux; voitures qui offriraient, avec autant de commodités que ces coches, l'assurance d'une marche beaucoup plus rapide.

M. Douglas et les autres concurrens se sont beaucoup moins étendus que MM. Scott et Robertson sur la question mise au concours. Leurs mémoires, ou les modèles qu'ils ont présentés, avaient moins pour objet la discussion des avantages et des inconvéniens des chemins

[illegible] une l'indication de quelques procédés [illegible] faciliter l'ascension des plans inclinés [illegible] reconnaissent tous l'indispensable né-[illegible] sur ces chemins.

[illegible] avoir rendu compte des différentes [illegible] qu'il avait été chargé d'examiner, M. Ste-[illegible] a exposé ses propres réflexions sur la [illegible] ; nous allons rappeler les plus impor-[illegible]

Dans l'état présent de la Mécanique usuelle, [illegible] facile d'imaginer et de construire un ap-[illegible] propre à élever sur des plans inclinés un [illegible] de [illegible] à 8 voitures, qui forment, avec [illegible] chargemens, un poids de 8 à 10 tonneaux; [illegible] poids qu'un bon cheval est capable de traîner sur un chemin de fer horizontal. Mais pour que ce cheval puisse marcher commodément, il faut mettre au moins quatre pieds d'intervalle entre les barres de fer ou de fonte qui déterminent la largeur de la voie.

C'est par l'expérience qu'on a été conduit à diminuer de plus en plus la capacité des chariots employés sur les chemins de fer; ces chariots contenaient autrefois jusqu'à 5 tonneaux de chargement; mais alors toutes les parties du chemin s'ébranlaient sous un pareil fardeau, et il fallait, pour en prévenir la dislo-

cation, employer des barres plus fortes et plus pesantes, ce qui occasionait des dépenses de premier établissement, et des frais d'entretien beaucoup plus considérables.

On ne s'accorde point encore sur la grandeur des roues de ces chariots. En donnant à celles-là 15 à 18 pouces de hauteur, il devient plus facile de charger et de décharger ceux-ci; et ce qui est surtout à considérer, la ligne suivant laquelle le tirage s'effectue correspond mieux à la hauteur ordinaire des épaules du cheval.

Le temps n'est peut-être pas éloigné, dit M. Stevenson, où l'on verra des chemins à ornières établis à côté des routes ordinaires, et leur servir en quelque sorte d'accompagnement, comme dans quelques endroits de la principauté de Galles (57). On pourra former ces ornières de blocs de granite, de grès, ou de quelque autre pierre dure. Il y en a de semblables à Nottingham, et il en existe depuis long-temps dans quelques rues de Milan (58). Si pourtant l'on considère que ces ornières en pierre doivent être composées de blocs de plusieurs pieds de longueur, qu'il est souvent difficile de se procurer et de poser solidement, on conçoit que l'emploi de cette espèce de rouages peut devenir



[illegible]…dieux que celui des rouages
… forge.

… surveillance établi en Angleterre
…struction et l'entretien des routes,
…tes les personnes qui ont été ap-
… exercer cette surveillance, le goût des
… dont ces voies de communication
…tibles, et leur a fait acquérir l'ex-
… nécessaire pour obtenir ces améliora-
… pourquoi les routes de la Grande-
… étaient déjà depuis long-temps comp-
… les plus solides et les plus belles de
… une circonstance particulière
… dans ces derniers temps, un redou-
… d'attention sur elles, et a amené par
… de nouveaux perfectionnemens.

M. Stevenson raconte que, dès l'année 1811,
… dans le Kinkardinshire, et en 1818
… le comté d'Edimbourg, la construction de
… parties de route, en cailloux beaucoup plus
… que ceux qu'on emploie communément à
cet usage. Les esprits n'étaient point préparés
à ce changement; les plans de M. Stevenson
ne furent donc point approuvés, sous le pré-
texte de la dépense qu'il aurait fallu faire pour
les mettre à exécution. Heureusement, dit-il
il arriva que lord Melville, voyageant dans le

comté de Sommerset, eut occasion de s'assurer par ses yeux des bons résultats de ce système, dont on avait fait des applications en plusieurs endroits de ce comté, sous la direction de M. Mac Adam (59). Ce qui n'est pas généralement connu, c'est que Sa Seigneurie, frappée des avantages que présente ce mode de construction, le fit valoir avec l'influence qu'elle exerçait. Voilà comment, soutenu bientôt après de l'approbation générale, ce mode s'est introduit presque partout, et s'est propagé avec tant de rapidité, que quelques-unes des principales rues de Londres sont aujourd'hui transformées en chaussées de cailloutis, transformation dont un des premiers effets a été de faire cesser le bruit incommode qu'occasionait le roulage continuel des voitures sur le pavé de ces rues.

On peut, à la vérité, objecter contre l'introduction de cette espèce de chaussée dans les villes, les inconvéniens de la poussière pendant l'été, et de la boue pendant l'hiver; mais il semble facile de se mettre à l'abri de ces deux inconvéniens, en plaçant, dans la largeur de ces chaussées, une ou plusieurs ornières formées de blocs de pierre de taille posées avec les soins convenables. On obtiendra ainsi, à peu de frais, les avantages réunis

du procédé de Mac Adam et des chemins à ornières fixes.

Les résultats du concours proposé par la société de la Haute-Écosse étaient à peine publiés, qu'il parut à Londres, en 1825, un Traité pratique sur les chemins de fer et sur les communications intérieures en général, par M. Nicolas Wood (60).

L'auteur expose les progrès successifs de ces communications en Angleterre, et cette partie de son ouvrage est une des plus instructives. Il observe, avec beaucoup de justesse, que depuis 1755, que les premiers canaux de navigation y ont été ouverts, leur construction ne s'est améliorée que par de légers changemens dans la manière d'opérer le passage des bateaux d'un bief dans un autre; la théorie des canaux est restée stationnaire, et ils n'ont, en quelque sorte, participé à aucun des perfectionnemens dont les progrès de la Mécanique ont enrichi l'art de construire les chemins de fer. Cet art n'a fait lui-même autant de progrès que parce qu'on s'est attaché à multiplier les expériences pour reconnaître et évaluer les résistances que les voitures éprouvent à rouler sur ces chemins. Si donc le perfectionnement des canaux consiste à rendre leur parcours plus ra-

pide, ce qui est incontestable, il ne l'est pas moins que, pour atteindre ce but, il faudrait commencer par recueillir des expériences exactes sur les résistances que les bateaux éprouvent à s'y mouvoir. Malheureusement on en est encore à désirer que de nouvelles observations soient entreprises sur cette importante matière, avec le degré de précision que l'état actuel des sciences permettrait d'y apporter.

Un des chapitres les plus importans de l'ouvrage de M. Nicolas Wood est celui qu'il a consacré à traiter des différens moteurs employés sur les chemins à ornières.

Les chevaux ont été les premiers de ces moteurs. Or, il est évident que leur effort total se compose de deux efforts distincts : l'un qu'ils exercent pour traîner le fardeau auquel ils sont attelés; l'autre pour porter leur propre corps en avant. Aucune expérience concluante ne peut, jusqu'à présent, servir à déterminer avec précision chacun de ces deux efforts partiels.

Desaguliers évalue à 200 livres l'effet utile d'un cheval de trait qui parcourt 2 milles $\frac{1}{2}$ par heure et qui travaille 8 heures par jour. Cet effet utile est moindre suivant Smeaton; Watt l'évalue à 150 livres sous la même vitesse de tirage.

[illegible] pour traîner une charge de [illegible] livres sur un plan horizontal.

Les lois du mouvement des corps sur les plans inclinés apprennent en effet que plus la hauteur de ces plans devient considérable, moins les chevaux qui les franchissent sont capables d'employer utilement leur force musculaire à élever le fardeau auquel ils sont atte-

lés. Lors même que les pentes naturelles du sol sont peu sensibles, M. Wood recommande, comme on l'avait déjà recommandé avant lui, de diviser la route en paliers de niveau et en plans légèrement inclinés. On trouve dans son ouvrage (61) une description de ceux qu'on a déjà établis sur les chemins de fer des environs de Newcastle, et qui paraissent avoir été spécialement l'objet de ses observations.

Ce que nous avons dit plus haut des machines à vapeur fixes, placées au sommet des plans inclinés pour servir à la remonte des chariots, nous dispense d'en parler de nouveau. C'est une application déjà ancienne d'un mécanisme connu; mais s'il est superflu de répéter ici ce que l'ouvrage de M. Wood contient de détails sur ce point, il n'est peut-être pas inutile d'ajouter quelque chose à ce que nous avons dit sur les machines à vapeur locomotives, vers le perfectionnement desquelles l'attention des ingénieurs et des mécaniciens anglais s'est particulièrement dirigée.

Le premier essai des machines de MM. Vivian et Trevitick fut fait en 1806, sur une partie du chemin de fer de Merthyn-Tydvil dans le pays de Galles. La machine, mise à l'épreuve, fit un trajet de 9 milles avec une vitesse de

5 milles par heure, en traînant avec elle autant de voitures qu'il en fallait pour contenir 10 tonneaux de fer forgé. Malheureusement, on a omis de mentionner l'inclinaison de ce chemin, ce qui rend l'observation incomplète.

On craignit d'abord que les roues du chariot qui portait la machine n'adhérassent pas suffisamment sur les ornières pour prendre un mouvement de rotation; MM. Vivian et Trevitick recommandèrent en conséquence de rendre raboteux et rude le pourtour extérieur des jantes de ces roues; mais, outre le frottement excessif résultant de cette précaution, on devait prévoir encore que les barres du chemin en seraient promptement endommagées. Ce fut pour remédier à cet inconvénient que M. Blenkinsop, ingénieur des mines de charbon de Midleton près de Leeds, imagina, en 1811, de poser le long des ornières une crémaillère continue, sur laquelle se développait une roue dentée fixée au chariot qui portait l'appareil. Cette roue dentée tournait constamment dans le même sens par l'action des deux pistons de la machine, qui, au moyen de bielles et d'engrenages, s'exerçait alternativement aux deux extrémités du diamètre horizontal de cette roue dentée.

Après l'invention de nouveaux procédés pour lesquels MM. Chapman et Brunton obtinrent, en 1812 et 1813, des patentes spéciales, l'expérience prouva, sur les chemins à ornières de Wylam, qu'il s'établissait entre les barres qui forment la voie et la surface des jantes, une assez grande adhérence pour que le mouvement de rotation fût produit par le seul poids de la machine, sans qu'on eût besoin de recourir à aucun moyen subsidiaire. Cette simplification opérée, il fut encore accordé à MM. Stephenson et Dodd, au mois de février 1815, une patente à l'occasion d'un nouveau perfectionnement de leur invention : il consiste à fixer immédiatement à chacune des roues du chariot qui supporte l'appareil, l'extrémité inférieure d'une bielle, dont l'extrémité supérieure est attachée par un joint flexible à la tige du piston correspondant; car il entre dans la composition de cette machine deux cylindres égaux qui reçoivent la vapeur de la même chaudière. Les deux pistons s'élevant et s'abaissant successivement, impriment aux roues du chariot leur mouvement de rotation. Ce mouvement est d'ailleurs régularisé au moyen d'une chaîne sans fin, dont le développement s'opère sur la circonférence de deux cylindres concentriques

à chacune des roues, et qui sont fixés aux mêmes essieux au dessous du chariot. Le premier essai que l'on fit de cet appareil au mois de mars [illegible], sur le chemin à ornières de Killingworth, obtint un succès remarquable.

Enfin, l'emploi de la chaîne sans fin n'étant point sans quelques inconvéniens, on a imaginé de substituer à cette chaîne un système d'engrenage qui est placé sous le chariot, concentriquement à ses roues, dont le nombre est porté à huit. Cette disposition était adaptée, en [illegible], aux machines locomotives employées sur le chemin de fer des mines de charbon de Wylam. C'est, au rapport de M. Wood, le dernier perfectionnement qu'on ait essayé de donner à ces machines (62).

Ayant ainsi rendu compte, avec beaucoup d'ordre, des progrès successifs de cette partie importante de l'art de l'ingénieur, M. Wood cite les résultats d'expériences nombreuses qui ont été faites sur la résistance des bandes de fonte ou des barres de fer forgé, sur le frottement engendré par la rotation ou le glissement des corps en contact, sur la puissance des machines à vapeur fixes ou locomotives, et sur l'action musculaire des chevaux.

Si nos propres recherches remplissent les

vues d'utilité dans lesquelles nous les avons entreprises, ce sera surtout par la série de faits et d'observations dont elles présenteront le tableau; nous ne sortirons donc point des limites que nous avons dû nous prescrire, en rappelant les principaux faits et les observations les plus importantes dont M. Wood a fait mention.

Cet ingénieur pose en principe que les barres ornières ne doivent jamais être exposées à supporter plus des deux tiers de la charge qu'elles seraient capables de soutenir avant de se rompre. Du reste il renvoie ses lecteurs à l'ouvrage de M. Thomas Tredgold, sur la résistance de la fonte et du fer forgé.

C'est évidemment à l'expérience que l'on doit recourir pour assigner la véritable valeur des obstacles que les forces motrices ont à vaincre sur un chemin de fer. On sait que, dans un temps calme, ces obstacles se réduisent aux frottemens qui ont lieu à la circonférence des roues et à celle des essieux. Il serait utile de pouvoir apprécier séparément ces deux frottemens, afin de remédier efficacement à chacun d'eux; malheureusement, leurs effets se confondent dans toutes les observations auxquelles le mouvement des voitures peut être soumis.

MM. Wood et Georges Stephenson s'occupèrent, en 1818, d'expériences sur cet objet au moyen d'un dynamomètre de leur invention. Les chariots qu'ils mirent à l'épreuve avaient la même forme et les mêmes dimensions que ceux dont on fait usage ordinairement pour le transport du charbon de terre; le diamètre de leurs roues était de 34 pouces, et celui de leurs essieux de 2 pouces $\frac{3}{4}$. On leur faisait parcourir, en montant et en descendant alternativement, une portion de chemin de fer inclinée de $\frac{1}{488}$ de sa longueur; on mesurait la résistance qu'ils éprouvaient dans l'un et l'autre cas, et l'on regardait la moyenne de ces deux résistances comme celle qui aurait eu lieu sur le même chemin s'il eût été horizontal.

Ainsi un chariot qui pesait avec son chargement 76 quintaux $\frac{1}{4}$ et dont les roues avaient été trempées à leur pourtour (63), éprouvait une résistance moyenne de 39 livres, tandis que cette résistance était de 63 livres lorsque le pourtour extérieur des roues n'avait point été durci par la trempe. Dans la première de ces observations, le frottement exprimé en poids équivaut à la 195e partie de la charge, tandis que dans la seconde il en est la 121e partie environ.

Ces deux observations, et plusieurs autres qui les vérifient, apprennent qu'avec des soins plus ou moins recherchés dans la fabrication des roues, des essieux, et des coussinets de fer ou de cuivre sous lesquels tournent ceux-ci, on peut diminuer de 38 à 40 pour cent la résistance qui provient des frottemens à la circonférence des roues et des essieux.

L'avantage qu'on se procure en apportant plus de perfection dans la construction des chariots et l'ajustage de leurs différentes parties étant ainsi mis hors de doute, il fallait déterminer l'influence de l'accroissement de leurs charges sur l'augmentation des frottemens qu'ils éprouvent.

Des chariots des mêmes dimensions que ceux dont on s'était déjà servi, ayant été mis en expérience sur une partie de chemin de 1164 pieds de longueur et de 11 pieds 2 pouces de pente, on trouva que des chargemens de 43, 63 et 76 quintaux, y compris le poids des chariots, produisaient des frottemens de 36, 48 et 58 livres. Les rapports du frottement à la pression, donnés par ces expériences, sont exprimés par les nombres fractionnaires 0,00837, 0,00762, 0,00771, lesquels ne diffèrent point assez entre eux pour qu'on rejette la règle indiquée par

théorie et admise par M. Wood, que les frottemens sont proportionnels aux charges (64).

Il fallait rechercher encore comment la vitesse imprimée aux chariots peut modifier leur frottement sur des chemins de fer. MM. Wood et Stephenson trouvèrent, en 1819, qu'un chariot semblable aux précédens, monté sur des roues et des essieux de mêmes dimensions, et qui pesait avec sa charge 75 quintaux ½, éprouvait un frottement constant de 56 livres, sous des vitesses de 154, de 140, de 307 et de 597 pieds par minute; d'où l'on voit que, dans ces limites de vitesse, le frottement reste le même, quelle que soit la rapidité du mouvement (65).

Les expériences que nous venons de citer avaient été faites sur des chemins de fer à ornières saillantes (*edge-rail*); il restait à savoir si, tout égal d'ailleurs, ces résultats seraient les mêmes sur des chemins de fer à ornières planes (*tram-rail*). M. Wood trouva que la résistance du frottement, qui était représenté sur les premières par le nombre 116, devait être représentée sur les secondes par le nombre 121; d'où l'on voit que les ornières saillantes ont un avantage décidé sur les autres.

Les cordes au moyen desquelles on élève un convoi de chariots le long d'un plan incliné glis-

sent sur ce plan, ou sont portées sur des rouleaux disposés à cet effet de distance en distance. D'après les expériences de M. Wood, cette espèce de frottement est à la pression qui le produit dans le rapport de 1 à 3,5 (66).

Voici maintenant les résultats des observations recueillies par M. Wood, sur l'effet utile des différens moteurs employés à élever les chariots sur des plans inclinés.

En comparant l'action de la vapeur sur la surface des pistons de deux machines de Watt, à l'effet utile de ces machines, il trouva celui-ci égal aux $\frac{258}{1000}$ de l'action de la vapeur qui le produisait.

Faisant la même comparaison sur des machines à haute pression, il trouva que leur effet utile était égal aux $\frac{283}{1000}$ de l'action de la vapeur sur la surface de leur piston.

D'où il suit que ces dernières machines sont préférables aux premières, et cela indépendamment de la moindre consommation de charbon qu'elles exigent (67).

Passant ensuite à l'évaluation de la puissance musculaire des chevaux, M. Wood conclut d'une série d'expériences que la partie de cette action musculaire, employée par un fort cheval à traîner un fardeau sur un chemin horizontal,



équivaut à un poids de 115 liv., que l'on peut réduire à 100 liv. pour un cheval ordinaire (68).

Si donc on regarde l'effort du cheval comme la 200e partie du chargement qu'il est capable de traîner sur une ornière saillante, ce chargement sera moyennement de 20,000 livres, ou de 10 tonneaux.

Attendu, d'un autre côté, que les résistances à vaincre augmentent pendant l'hiver, à cause des pluies et des gelées, M. Wood porte à 112 livres la dépense continue d'action musculaire que doit faire un cheval qui est attelé à un fardeau de 10 tonneaux, et qui marche 10 heures par jour avec une vitesse de 2 milles par heure.

Ce poids de 10 tonneaux, transporté à 20 milles de distance, ou, ce qui est la même chose, un poids de 200 tonneaux transporté à un mille, est donc l'expression du travail journalier d'un cheval ordinaire; or, cette expression correspond évidemment au *maximum* de dépense d'action musculaire à laquelle il est capable de subvenir, puisque, d'après l'observation qu'on en a faite, la vitesse de 2 milles par heure est précisément celle qu'un cheval chargé prend de lui-même quand on le laisse en liberté (69).

Tout le monde sait que l'énergie de l'action

musculaire des animaux, dans la production de leur effet utile comme moteurs, diminue suivant une certaine loi, à mesure que leur vitesse augmente.

M. Wood n'a point fait d'expériences pour déterminer cette loi ; mais il adopte la plus simple, en supposant que l'effet utile de l'action musculaire du cheval décroît proportionnellement à la vitesse avec laquelle il s'emploie à l'exercer ; de telle sorte que si l'on représente par 112 liv. sa puissance d'action musculaire quand il traîne un fardeau de 10 tonneaux avec une vitesse de 2 milles par heure, on ne pourra représenter que par 37 livres $\frac{1}{3}$ la puissance d'action qu'il exercera pour traîner le même fardeau avec une vitesse triple (70). Cette règle, qui d'ailleurs n'est proposée que comme une simple règle de pratique, et seulement applicable dans certaines limites de vitesse, a cela de commun avec celles qui ont été données précédemment par M. Gerstner, dans l'ouvrage dont nous publions la traduction, et par M. le professeur Leslie, dans ses Élémens de philosophie naturelle.

L'importance que l'on a attachée, dans ces dernières années, à remplacer sur les chemins de fer les chevaux de charroi par des machines



à vapeur locomotives, a dû provoquer de nouveaux essais sur l'usage de ces machines.

D'après quelques-uns de ces essais, cités par M. Wood, l'adhésion qui retient sur la surface d'ornières de fonte ou de fer forgé les roues du chariot sur lequel une machine locomotive est placée, ou, en d'autres termes, le frottement qui détermine la rotation de ces roues est généralement égal à la 25e partie du poids total de cette machine et du chariot qui la contient.

Le moment de la force motrice appliquée à cet appareil est d'ailleurs proportionnel au diamètre des roues de son chariot. Or, cette force est évidemment représentée par la quantité de combustible employée à sa production, et son effet utile doit être aussi représenté par l'espace qu'elle est capable de faire parcourir. L'expérience confirme cette théorie; car M. Wood ayant monté le chariot d'une machine locomotive sur des roues de 3 et de 4 pieds de diamètre, trouva qu'avec une quantité donnée de combustible, les espaces parcourus étaient proportionnels aux diamètres de ces roues (71).

L'économie du charbon est un des principaux objets qu'on se propose dans l'emploi des machines locomotives. Tous les perfection-

nemens auxquels on sera conduit ultérieurement par une théorie plus complète de la formation de la vapeur, de son développement, de sa puissance et de son mode d'action, leur seront immédiatement applicables, comme à toute autre machine de cette espèce, quel qu'en soit l'usage.

En attendant, nous croyons devoir donner place ici à une remarque de M. Wood, qui nous paraît d'autant plus importante qu'elle peut servir à faire disparaître un sujet fréquent de mécomptes, et à prévenir des difficultés qui ne s'élèvent que trop souvent entre les constructeurs de machines à vapeur et les manufacturiers auxquels ils les livrent.

Ces constructeurs sont dans l'usage d'évaluer la puissance de leurs machines, en multipliant la surface du piston moteur par le degré de tension auquel la vapeur est élevée dans la chaudière où elle se forme. Mais il est évident que la tension de la vapeur n'est pas la même dans la chaudière et sur la surface du piston, puisqu'en vertu du mouvement de ce piston, la vapeur, en passant de la chaudière dans le cylindre, se dilate d'autant plus, et par conséquent exerce sur la base du piston une pression d'autant moindre, qu'il se meut avec plus de rapi-

diré. L'évaluation de la puissance des machines à vapeur, telle qu'on la donne dans les ateliers où elles sont fabriquées, est donc tout-à-fait fautive. Deux expériences de M. Wood viennent à l'appui de cette vérité. Il rapporte qu'une même machine, dont la vapeur était tenue dans sa chaudière au même degré de tension de 50 livres par pouce superficiel, produisait, suivant le plus ou moins de vitesse imprimée à son piston, des effets utiles qui étaient les [illegible] ou les [illegible] de la puissance de cette machine, suivant le mode d'évaluation qu'on est dans l'usage d'en faire [illegible]. Or ces deux effets diffèrent entre eux de plus de 62 pour 100, tandis qu'ils devraient être égaux si ce mode d'évaluation était exact.

Le poids de la vapeur qui, pendant l'unité de temps, passe de la chaudière dans le cylindre, est la véritable force motrice du piston; et cette force, multipliée par la durée de son action, est égale à l'effet utile qu'elle engendre, c'est-à-dire au produit du fardeau transporté, par le chemin qu'il parcourt.

Dans les deux expériences de M. Wood, dont l'une a duré 450 secondes et l'autre 175 seulement, l'application du principe qui vient d'être énoncé donne pour l'expression de la force mo-

trice du piston les nombres 49 et 57, ce qui signifie qu'il se fait une plus grande dépense de vapeur au même degré de tension, et par conséquent une plus grande consommation de combustible, lorsque la vitesse du piston est plus considérable; résultat tout-à-fait conforme à celui auquel on parvient dans l'emploi des moteurs animés, puisque, pour tirer le meilleur parti possible de leur puissance musculaire, il faut, par exemple, augmenter le nombre de chevaux attelés à une voiture, quand on veut la faire rouler avec plus de rapidité.

Cet accord de l'expérience et du raisonnement sur l'augmentation de la force motrice appliquée à la durée de son action, dans la production de l'effet utile des machines à vapeur locomotives, suffirait pour faire sentir tout le désavantage auquel on s'exposerait en élevant la rapidité du mouvement de translation qu'elles impriment au-delà d'un certain degré (73). Aussi M. Wood regarde-t-il les assurances qu'on a données de pouvoir leur faire atteindre une vitesse de 12, 16, 18 ou 20 milles par heure comme autant d'exagérations ridicules.

Les communications ouvertes d'un lieu à un autre ne sont complètement utiles qu'autant

qu'elles peuvent être parcourues simultanément dans les deux directions opposées. Afin de pouvoir circuler sur les chemins à ornières avec autant de commodité que sur les grandes routes et sur les canaux, il faudrait donc établir deux voies de fer parallèles l'une à l'autre. Cette disposition doit évidemment doubler la dépense de cette espèce de chemin, et ceci doit être d'un grand poids dans la discussion de ses avantages et de ses inconvéniens.

On regrette que M. Wood ne soit pas entré plus profondément dans cette discussion. Le dernier chapitre de son ouvrage n'offre en effet qu'une comparaison succincte des forces motrices à l'aide desquelles on opère, sur les canaux et sur les chemins de fer, le halage des bateaux et le roulage des voitures. Les opinions se trouvent encore divisées à ce sujet. Suivant M. Stevenson d'Édimbourg, un cheval peut traîner, avec une vitesse de 2 milles par heure, un poids de 30 tonneaux sur un canal; M. Sylvester, dans son rapport sur la route à ornières de Liverpool à Manchester, réduit ce poids à 20 tonneaux seulement; tous les deux évaluent d'ailleurs à 10 tonneaux le chargement qu'un cheval peut traîner avec la même vitesse sur un chemin de fer horizontal. Ainsi, dans ce cas

particulier de mouvement, on obtiendrait du même moteur, en l'attelant à un bateau, un effet utile triple de celui qu'on en obtiendrait en l'attelant à une file de chariots. Mais comme l'expérience apprend que les résistances au mouvement croissent sur les canaux proportionnellement au carré des vitesses, tandis que ces résistances demeurent constantes sur les chemins de fer, quelle que soit la célérité du roulage, on conçoit que par l'accélération de son allure, un cheval perd bientôt l'avantage avec lequel on peut le faire servir au halage des bateaux qui cheminent lentement. M. Wood trouve par exemple, que l'effet utile de ce moteur est le même sur les canaux de navigation et sur les chemins de fer, quand sa vitesse est portée à 3 milles $\frac{1}{2}$ par heure. Il trouve aussi que, pour traîner le même chargement avec une vitesse de 6 milles par heure, il faudrait, sur un canal, employer un nombre de chevaux triple de celui qu'il faudrait employer sur un chemin de fer (74).

M. Wood, en terminant, fait assez sentir qu'il donne la préférence à cette dernière espèce de voie de communication. Mais si l'on considère qu'il n'a égard, d'un côté, ni à la nécessité de doubler les deux cours d'ornières pour rendre

cette voie praticable à la fois dans les deux sens, ni à la nature des marchandises au transport desquelles elle doit servir; et, d'autre part, ni à la largeur des canaux, ni aux modifications de forme dont les proues des bateaux sont susceptibles pour éprouver moins de résistance, on conviendra qu'il laisse encore indécise la question de la préférence à donner aux chemins de fer sur les canaux de navigation.

M. Thomas Tregdold, ingénieur civil, auquel on doit plusieurs traités importans sur diverses parties de l'art qu'il exerce, a aussi entrepris de résoudre cette importante question, dans un ouvrage qui date de la même année que celui de M. Wood, et qui porte aussi à peu près le même titre (75).

Mais si ces deux ouvrages ne diffèrent point entre eux par le fond du sujet, ils diffèrent beaucoup par l'ordre dans lequel ce sujet y est traité. Ainsi, la comparaison des canaux et des chemins de fer, qui forme la conclusion du travail de M. Wood, sert, en quelque sorte, d'introduction à celui de M. Tredgold. Celui-ci, moins riche de faits et d'expériences, présente des applications de calcul beaucoup plus nombreuses, et, sous ce rapport, il paraît rentrer davantage dans le domaine de la science.

A quelques dépenses que donnent lieu l'établissement et l'entretien des communications intérieures, l'état actuel de la civilisation ne permet pas de se refuser à les faire. C'est une vérité sur laquelle tout le monde est aujourd'hui d'accord avec M. Tredgold.

Suivant cet ingénieur, l'avantage des chemins de fer sur les grandes routes ordinaires, eu égard à la consommation de forces motrices, est dans le rapport de 8 à 1. Pour que ces chemins l'emportent sur les canaux, il faut que la vitesse des moteurs soit poussée au-delà de 3 milles par heure : en-deçà de ce terme, les canaux conservent une supériorité marquée.

Les routes à ornières ne leur sont donc préférables que dans les cas particuliers où il importe de transporter certaines marchandises avec une grande rapidité, cas assez rares et que le commerce s'attache toujours à prévenir. Voilà pourquoi, comme le remarque M. Tredgold, les chemins de fer n'ont été employés, jusqu'à présent, avec succès que pour le transport des produits de quelques mines à des distances bornées; quand on a voulu les faire servir aux besoins généraux du commerce, ils n'ont pas répondu aux espérances de ceux qui qui les avaient projetés (76).

L'indication des chemins de fer qui existent aujourd'hui en Angleterre, dans le pays de Galles et en Écosse, vient justifier cette assertion. En effet, ces chemins, cités au nombre de 30, n'ont qu'un développement total de 258 milles, ce qui donne 8 milles $\frac{6}{10}$ pour la longueur moyenne de chacun d'eux. En parlant des principaux, M. Tredgold décrit les chariots qui y sont en usage, et indique l'espèce de barres dont ils sont construits. Il remarque que dans le pays de Galles, où on les a le plus multipliés, les barres planes (*tram-road*) sont généralement employées, ce qui lui fournit un argument en leur faveur.

M. Tredgold rappelle les formules connues du mouvement uniforme des corps pesans sur les plans inclinés, en ayant égard au frottement, qu'il suppose proportionnel à la pression exercée. Il faut, pour rendre cette formule applicable, substituer aux expressions générales des différentes quantités qui y entrent, les valeurs numériques de ces quantités fournies par l'observation; malheureusement, les expériences d'où ces valeurs sont déduites ont été faites, comme celles de M. Gerstner, sur une trop petite échelle. Cependant M. Tredgold prévient que le modèle de voiture dont il s'est

servi n'avait pas été exécuté avec plus de perfection qu'une voiture ordinaire; ce qui justifie jusqu'à un certain point la confiance qu'on accorderait à ses calculs.

Il évalue, d'après ces expériences, le frottement au huitième de la pression; et il pose pour règle, dans l'emploi des machines locomotives, que leur poids doit être assez grand pour produire sur la surface des ornières un frottement qui soit au moins égal à la force nécessaire pour mettre le train de chariots en mouvement; car si ce frottement était moindre, les roues de la machine pourraient tourner sans que les chariots avançassent.

Passant ensuite à l'examen des différens moteurs, M. Tredgold s'occupe d'abord du cheval, dont la force lui semble réunir une plus grande simplicité d'application à des effets plus certains. Il admet, conformément à une longue série d'expériences dont quelques-unes lui sont propres, que la plus grande vitesse qu'un cheval non chargé puisse prendre est de 6 milles par heure, en travaillant 6 heures par jour pendant plusieurs jours de suite (77); il établit sur ce fait une formule qui lui sert à dresser une table des plus grandes vitesses d'un cheval non chargé, pendant un certain nombre d'heures de travail

journalier. Cette table indique que cette plus grande vitesse est de 14 milles $\frac{7}{10}$ pour une heure de travail seulement; elle serait de 4 milles $\frac{6}{10}$ pour un travail de 10 heures par jour.

Si, maintenant, après avoir fixé à un certain nombre d'heures la durée journalière du travail d'un cheval, on cherche la vitesse correspondante au *maximum* de l'effet utile qu'il est capable de produire pendant cette durée, on trouve qu'elle doit être précisément égale à la moitié de la plus grande vitesse que puisse prendre le même moteur non chargé qui marcherait le même nombre d'heures.

Ainsi, pour une journée de travail de 6 heures, la vitesse du cheval correspondante au *maximum* d'effet utile doit être de 3 milles par heure, et pour une journée de 10 heures de 2 milles $\frac{3}{10}$.

M Tredgold regarde la force musculaire du cheval comme équivalente au quart de son propre poids, c'est-à-dire à 250 liv. environ (78). Or, de quelque manière qu'elle s'exerce, une partie de cette force musculaire est employée à entretenir en mouvement la propre masse du moteur, tandis que l'autre est employée à produire l'effet utile qu'on en attend.

Suivant M. Tredgold, ces deux parties dis-

tinctes de la force musculaire du cheval doivent être égales entre elles et équivalentes chacune à 125 livres. D'après son calcul, c'est avec une vitesse de 3 milles par heure, que ce moteur peut transporter le plus grand poids, en dépensant le moins possible de sa force musculaire, ou, ce qui revient au même, en s'usant le moins promptement. Quelque confiance que méritent ces considérations, les entrepreneurs de voitures publiques en Angleterre n'en tiennent cependant aucun compte; ils n'hésitent point à sacrifier annuellement, par un travail forcé, le tiers des chevaux qu'ils entretiennent, parce que l'intérêt du capital employé au remplacement de ceux qui sont mis hors de service est moindre que la dépense qu'il faudrait faire pour en entretenir un plus grand nombre dont le travail serait modéré (79).

Les machines à vapeur locomotives ont été, pour M. Tredgold, l'objet de recherches assez étendues. Il s'occupe particulièrement de celles de Trevitick, dans lesquelles la vapeur exerce sur la soupape de sûreté des pressions qui varient de 30 à 40 livres par pouce superficiel; il donne, en se réservant de la démontrer plus tard, une formule qui exprime la force de la vapeur produite par un pied cube d'eau en

f..

fonction de l'élasticité de cette vapeur, de sa température, et des différentes résistances qui tendent à la comprimer; il déduit de cette formule le *maximum* de puissance d'un pied cube d'eau vaporisé.

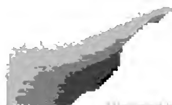
Il exprime par une autre formule la quantité de charbon nécessaire pour réduire un pied cube d'eau en vapeur sous la pression atmosphérique, en supposant d'ailleurs que l'on connaisse la chaleur spécifique de la vapeur d'eau et celle de l'air, ainsi que la quantité de charbon capable d'élever d'un degré thermométrique la température d'un pied cube de ce liquide (80).

Appliquant cette formule au charbon de Newcastle, il trouve que 82 livres de ce combustible peuvent développer une quantité de vapeur d'eau capable de produire, comme force motrice, un effet précisément égal au travail journalier d'un cheval, et cela dans les machines à basse pression où la vapeur introduite dans le cylindre est censée conserver la même densité; car dans les machines de Woolf et de Trevitick, où la vapeur continue d'agir sur le piston en se dilatant de plus en plus, il ne faut que 59 livres du même combustible pour produire un effet équivalent. Il importe de remar-

quer encore que ces résultats s'obtiennent seulement sur des machines fixes : car des machines locomotives exigent, pour le développement de la même force, environ un huitième de combustible de plus.

M. Tredgold termine ses recherches sur les machines locomotives en soumettant au calcul les effets d'un nouvel appareil, imaginé par M. Brown (81), pour remplacer les machines à vapeur ordinaires, appareil qui a vivement excité l'attention publique.

Si, dans le cylindre et au-dessous du piston d'une de ces machines, on introduit de l'air atmosphérique et du gaz hydrogène, en telle proportion qu'on n'ait pas d'explosion à craindre en mettant le feu à ce mélange, on sait que, par l'effet de la combustion qui en sera provoquée, il se formera une certaine quantité d'eau, dont le volume sera, pour ainsi dire, insensible, en comparaison de celui des deux gaz qui se seront combinés ; on sait aussi que l'azote et les autres substances gazeuses qui peuvent entrer accidentellement dans la composition de l'air atmosphérique, s'étant plus ou moins dilatés par la chaleur de la combustion, leur force élastique agira pour soulever le piston, dont on suppose, pour plus de simplicité, la surface su-



périeure exposée à la pression de l'atmosphère. Mais si, par un moyen quelconque, on refroidit tout-à-coup ce résidu gazeux, il sera immédiatement condensé, le vide presque absolu se formera dans la partie inférieure du cylindre, et l'appareil se trouvera transformé en une espèce de machine à vapeur de Newcomen, si l'on répète successivement les mêmes opérations que nous venons d'indiquer.

On conçoit que la machine de Brown, qui n'aurait besoin ni de fourneau, ni de chaudière, ni du charbon, ni de l'eau, indispensables à la production de la vapeur, serait beaucoup moins pesante que les machines locomotives ordinaires ; mais, suivant M. Tredgold, la force motrice, engendrée par la combustion de 1000 pieds cubes de gaz inflammable, n'équivaudrait qu'à la force de 4 chevaux quand il serait extrait de l'huile, et à celle de 2 chevaux et demi quand il serait extrait de la houille (82) ; d'où il conclut avec raison que l'emploi de cet appareil serait trop dispendieux, dans toutes les circonstances où l'on peut se servir de chevaux de trait.

D'un autre côté, considérant les embarras dont la marche d'une machine locomotive peut souvent être entravée sur un chemin de fer, il

croit préférable de lui substituer plusieurs machines fixes, disposées en relais de distance en distance, pour traîner les convois de voitures au moyen de chaînes d'une longueur suffisante. Il assure que leur établissement et leur entretien n'occasioneraient pas plus de dépenses que l'établissement et l'entretien de machines locomotives.

Cet ingénieur diffère d'opinion avec la plupart des autres sur la capacité des voitures qu'on doit employer sur les chemins de fer. Il pense que cette capacité ne doit pas être inférieure à celle des chariots actuels de roulage; mais il pense aussi qu'il faudrait les monter sur 8 roues au lieu de 4. La hauteur de ces roues serait de 4 pieds 6 pouces ou de 5 pieds, et le poids de chacune de 548 livres; elles devraient être mobiles sur leurs essieux. En fabriquant ceux-ci avec les soins convenables, il suffira, selon cet auteur, d'un effort de 52 liv. pour mettre en mouvement un poids de 5 tonneaux.

Ce que dit M. Tredgold du tracé des chemins de fer, des déblais et remblais que nécessite leur établissement, des dimensions et de la pose des barres de fonte qui forment leurs ornières (83), est conforme aux règles généralement admises,

et déjà publiées ; mais ce qui lui est particulier, et ce dont nous devons faire ici une mention succinte, ce sont les calculs auxquels il s'est livré, tant pour assigner le montant des péages à percevoir sur les chemins de fer, les canaux de navigation et les routes ordinaires, que pour déterminer les dépenses de transport sur chacune de ces voies de communication.

Le péage qui y est perçu au profit de leurs concessionnaires doit évidemment représenter l'intérêt des capitaux déboursés, un certain dividende, les frais d'entretien et de réparation des ouvrages, enfin les appointemens et le salaire d'employés de diverses classes.

M. Tredgold évalue à 5000 livres sterling la dépense de premier établissement d'un chemin de fer à double voie, sur un mille de longueur, et à 557 livres la dépense annuelle, au remboursement de laquelle les droits de péage doivent subvenir (84). Il réduit à 312 le nombre des jours de travail d'une année entière, ce qui porte à 428 deniers sterling le produit journalier de ce péage.

Passant aux canaux de navigation, il élève à 10,000 livres la dépense première de leur construction (85), et à 1114 livres les dépenses annuelles que les péages doivent acquitter par mille

de distance; ce qui équivaut à une dépense journalière de 856 deniers.

Enfin, il évalue l'établissement d'une grande route ordinaire à 1500 livres sterling par mille de longueur, et à 100 livres la dépense d'intérêts de capitaux, de réparation et d'entretien que les droits de péage doivent servir à rembourser annuellement. Le produit journalier de ces droits doit donc s'élever à 76 deniers, à très peu près (86).

Cela posé, il est évident que, pour assurer aux concessionnaires des chemins de fer, des canaux de navigation et des routes à barrières, des revenus proportionnés à leurs dépenses, il faut, en supposant que chacune de ces voies de communication serve au transport de la même quantité de marchandises, que les droits de péage fixés par tonneau et par mille sur chacune d'elles soient respectivement comme les nombres 428, 856, et 76.

Mais, pour évaluer l'augmentation totale de valeur que le transport des denrées leur fait subir, il faut ajouter aux droits de péage qu'elles supportent, le prix de la force motrice et des équipages à l'aide desquels elle exerce son action.

Afin de simplifier l'évaluation de ce prix, nous supposerons que les transports sont éga-

lement effectués à l'aide de chevaux sur les chemins de fer, les canaux et les grandes routes.

Les dépenses qu'exige annuellement l'emploi d'un cheval de trait se forment : de l'intérêt de son prix d'acquisition, du décroissement de sa valeur, d'une prime d'assurance contre le danger de mort ou de maladie, du prix de sa nourriture, de ses harnais, etc., des gages de celui qui le soigne, et d'un certain bénéfice pour l'entrepreneur qui le fournit.

Il faut ajouter, pour opérer les transports au moyen de ces moteurs, d'autres dépenses annuelles qui sont : l'intérêt du prix d'acquisition des voitures, le décroissement de leur valeur, la prime d'assurance contre les chances accidentelles de leur destruction, les frais ordinaires de leurs réparations et de leur entretien, le salaire de ceux qui les conduisent, enfin, le bénéfice de celui auquel elles appartiennent.

Or, d'après les évaluations de M. Tredgold, la dépense annuelle d'un cheval de trait est de 60 livres sterling ; celle des chariots qu'il peut traîner sur un chemin de fer, y compris le salaire de leur conducteur, est de 48 livres. C'est au total 108 livres sterling, ce qui revient par jour à 83 deniers.

Mais ce cheval et ces voitures devront parcourir 18 milles par jour, et transporter 6 tonneaux de marchandises; les dépenses de transport sur un chemin de fer seront donc de 0,77 denier sterling par tonneau et par mille.

Le coût annuel d'un cheval de trait est le même sur toute espèce de voie. Quant au coût des bateaux et des bateliers, il est beaucoup moindre sur un canal, proportionnellement aux masses transportées, que celui des chariots et de leurs conducteurs sur une route à ornières. Nous supposerons que le premier est seulement le quart du second; les dépenses annuelles d'un bateau de 24 tonneaux seront par conséquent de 48 livres sterling.

Ainsi le cheval de halage, le bateau, leur conducteur et bateliers, coûteront annuellement 108 livres sterling. Ce sera donc, comme sur le chemin de fer, une dépense de 83 deniers par jour.

Selon M. Bevan, dont M. Tredgold admet les expériences, un cheval qui parcourt 26 milles par jour traîne sur un canal un bateau chargé de 24 tonneaux (87); d'où il suit que les dépenses de transport sur cette voie s'abaisseront à 0,133 de denier par tonneau et par mille.

Sur une grande route, les dépenses de trans-

[illegible]

Mais l'hypothèse du transport de la même quantité de matières sur ces trois espèces de voies n'est point admissible. En effet, de quelque nature que soient les marchandises, elles peuvent toujours être transportées par charrois, et un grand nombre d'objets, tels que les engrais, la plupart des matériaux propres aux constructions, les fourrages, les grains, les boissons communes, etc., ont trop de poids, en égard à leur valeur, pour être trans-

portés avec avantage sur des chemins de fer. Il est donc naturel d'admettre qu'un canal étant ouvert entre deux points donnés, il y passera plus de denrées que sur un chemin à ornières établi entre ces deux points. C'est aussi l'hypothèse qu'admet M. Tredgold; mais il suppose qu'il ne doit passer sur un canal qu'une quantité de marchandises double de celle qui passerait sur un chemin de fer; de sorte qu'en portant à un denier sterling le droit de péage par tonneau et par mille sur ces deux espèces de voies, il faudrait, pour que la perception de ce droit compensât leurs frais de construction respectifs, qu'il passât journellement 428 tonneaux de denrées sur le chemin de fer, et 856 sur le canal.

On trouve alors que le prix total du transport dont s'accroît la valeur des marchandises par tonneau, et par mille de distance, est sur un chemin de fer de 1,77 denier sterling, et sur un canal de 1,13; la voie par eau présente donc une économie de 36 pour 100, à très peu près.

Ce résultat diffère de celui auquel M. Tredgold est parvenu; et cependant nous avons adopté les bases de son propre calcul. Malheureusement cette partie de son ouvrage n'est traitée ni avec la précision que réclamerait l'importance

de la matière, ni avec la méthode qui contribuerait à l'éclaircir.

Cet ingénieur a placé à la fin de son ouvrage des tables d'un usage commode, à l'aide desquelles on peut connaître, du moins par approximation, 1°. le *maximum* de puissance de la vapeur produite par un pied cube d'eau à différentes températures dans les machines à basse et à haute pression; 2°. les quantités de houille nécessaires pour développer dans ces machines une force de vapeur équivalente à celle d'un cheval; 3°. les effets produits par une puissance de 100 livres agissant avec différentes vitesses sur les chemins de fer, les canaux de navigation et les routes ordinaires; 4°. le *maximum* de travail dont un cheval de force ordinaire est capable avec ces différens degrés de vitesse sur ces trois espèces de voies.

Ici se termine le compte que nous avions à rendre des travaux auxquels les ingénieurs anglais se sont livrés à l'occasion des chemins de fer; nous allons faire connaître maintenant comment l'usage de ces chemins s'est introduit sur le continent, et quel parti on en a déjà tiré.

La tendance que tous les peuples éclairés montrent à se rapprocher les uns des autres comme pour travailler de concert aux pro-

grès des arts industriels, quelles que soient d'ailleurs les dispositions hostiles ou pacifiques de leurs gouvernemens, paraît être un besoin de notre temps, et l'un des principaux caractères de la civilisation moderne. La paix d'Amiens ne dura que quelques mois; et, pendant ce court intervalle, il se fit réciproquement de nombreuses excursions des deux côtés de la Manche. M. O'Reilly, l'un des principaux rédacteurs des Annales des arts et manufactures, ayant fait, à cette époque, un voyage en Angleterre, décrivit, dans le numéro de ce journal du mois de fructidor de l'an XI, les chemins de fer qu'il avait eu occasion de visiter, et indiqua quelques-uns des procédés de leur construction. La guerre, qui se ralluma bientôt, ne permettait pas de soumettre à des épreuves dispendieuses et d'un succès incertain cette nouvelle espèce de voie, qu'on ne jugeait propre qu'à favoriser, dans certaines localités, l'intérêt particulier de quelques manufactures. Les grandes communications par terre ou par eau dont l'intérêt général réclamait l'établissement et l'entretien étaient alors les seules qui dussent appeler l'attention.

Ce n'est que depuis 1814 et 1815 qu'on a pu de nouveau passer librement le détroit, et s'as-

surer par soi-même des avantages que ses voisins annonçaient avoir retirés des chemins à ornières qu'ils avaient considérablement multipliés depuis quelques années. Parmi les hommes du métier les plus capables d'apprécier ces avantages, M. de Gallois, ingénieur au corps royal des mines, est le premier qui les ait fait valoir à son retour d'Angleterre. La notice qu'il lut à l'Académie, et sur laquelle il a été fait un rapport favorable en 1818 (38), sera toujours un document précieux. On y trouve, entre autres vues utiles, la première idée du projet de chemin de fer que l'on a exécuté récemment entre la ville de Saint-Étienne et la Loire.

Peu de temps après, M. Dutens, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, inséra, dans sa Collection de Mémoires sur les travaux publics de la Grande-Bretagne, une courte description des chemins à ornières et des pavés en fonte de fer dont on venait de faire quelques essais.

A la même époque de 1819, M. Héron de Villefosse, après avoir décrit, dans le second volume de son grand ouvrage de la *Richesse minérale*, les voies de roulage en bois et en fer telles qu'elles sont établies dans l'intérieur de quelques mines de houille de Silésie, a montré

combien il serait avantageux de pouvoir effectuer à l'extérieur de ces mines le transport de leurs produits, au moyen de voies de fer semblables à celles d'Angleterre. En parlant, dans le volume suivant, des machines à vapeur à haute pression, il en indique l'usage comme locomotives sur les chemins à ornières; il a donné le premier en France, à cette occasion, la description détaillée et les dessins de l'ingénieux appareil imaginé en 1816 par MM. Losh et Stéphenson, que nous avons cité précédemment.

Enfin, M. Charles Dupin a consacré quelques pages de la cinquième partie de ses Voyages dans les îles britanniques, publiée en 1824, à l'exposé de quelques vues générales sur le tracé des chemins de fer, la disposition de leurs plans inclinés, et la dépense de leur établissement. Dès l'année 1818, il avait parlé de l'usage qu'on a fait de ces chemins pour le transport des matériaux qui ont servi à la construction du brise-lames (*break-water*) de Plymouth.

Au surplus, MM. Dutens, Héron de Villefosse et Dupin, citent le mémoire de M. de Gallois qui les avait précédés, et qui avait fait, comme nous l'avons dit, des chemins de fer d'Angleterre, l'objet d'une étude spéciale.

[illegible] effectués au moyen de chevaux.

Un autre chemin à ornières, descendant de Saint-Étienne à Lyon, va être mis incessamment à exécution. Celui-ci a pour objet de faire baisser dans cette dernière ville le prix des houilles de Saint-Étienne, qui, faute de moyens de transports économiques, ne peuvent s'y soutenir en concurrence avec les houilles de Rive de Gier. MM. Séguin d'Annonay, gérans de la compagnie d'actionnaires à laquelle cette en-

treprise est confiée, ont rendu compte de sa situation au commencement de l'année dernière (90). Ce compte renferme des détails fort instructifs sur les prix de transport des charbons de terre par le canal de Givors et par le chemin de fer projeté; sa longueur est de 60 kilom. Il sera formé d'une double voie en barres de fer forgé; le service s'y fera au moyen de 35 machines à vapeur locomotives, telles qu'on les fabrique dans les ateliers de M. Stéphenson à Newcastle, et de 700 chariots, semblables aussi à ceux dont on se sert en Angleterre sur les chemins de cette espèce.

La dépense de construction du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, sur 60 kilom. de longueur, est évaluée à 6,198,000 fr., c'est-à-dire à 103,300 fr. le kilom. Les machines à vapeur locomotives et leurs agrès, les chariots de fer, et l'intérêt des capitaux employés à tous ces ouvrages jusqu'à ce que leur mise en activité produise quelque dividende, sont portés à 3,802,000 francs : ce qui élève à 10,000,000 de francs la dépense totale de leur premier établissement.

D'après les calculs de MM. Séguin, les charges annuelles à supporter par leur compagnie, y compris les dépenses de transport dont elle s'est

réservé le monopole, s'élèveront à la somme de 851,750 fr., pour le remboursement de laquelle il lui a été concédé un droit de péage de 9 centim. $\frac{8}{10}$ par tonneau de marchandises et par kilomètre de distance.

Pendant que MM. Séguin rendaient compte à leurs associés de la situation de leur entreprise, et entretenaient le public de leurs espérances de succès, M. Navier, notre confrère, développait, dans un mémoire dont il a donné lecture à l'Académie des Sciences (91), l'idée de remplacer par un chemin de fer le canal maritime que l'on a proposé récemment d'ouvrir entre le Havre et Paris.

Cet ingénieur, évaluant à 80 kilogr. environ l'effort utile d'un bon cheval de trait, estime que lorsqu'il chemine horizontalement avec une vitesse de 4 kilom. par heure, il peut traîner sur une chaussée d'empierrement 1000 kilogr. ou un tonneau métrique; sur une route bien pavée, 1600 kilogrammes; et sur un chemin de fer, 8000.

La longueur du chemin à ornières du Havre à Paris serait de 220 kilomètres, ou de 55 lieues de 4500 mètres chacune.

M. Navier porte à 26 millions la dépense de premier établissement de ce chemin; ce qui

en fait revenir le kilomètre à 118,000 fr., non compris l'intérêt accumulé des capitaux pendant la durée des constructions, intérêt qu'il évalue à 5 millions; de sorte que la totalité des dépenses faites au moment où cette voie de communication serait ouverte d'un bout à l'autre, s'élèverait à 31 millions.

Il compose ensuite de l'intérêt de cette dernière somme, ajouté aux frais d'entretien et des dépenses d'administration, une charge annuelle de 2 millions, à laquelle il faut subvenir, au moyen des droits de péage qui seront établis.

Or, le montant de ces droits peut être considéré comme la différence des prix de transport acquittés par le commerce, conformément à un tarif convenu entre le gouvernement et la compagnie concessionnaire du chemin, et des dépenses de roulage acquittées effectivement par cette compagnie.

Mais, d'après le tarif proposé, le commerce aurait à payer pour le transport d'un tonneau de marchandises du Havre à Paris 27 fr. 87 c., tandis que les dépenses effectives du roulage ne seraient que de 12 fr. 53 c. Le péage dont il s'agit pourrait donc être porté à 15 fr. 34 c. par tonneau pour toute la distance de Paris au Havre, ce qui revient à 0f,069 par tonneau

et par kilomètre. A ce taux, il faudrait pour obtenir le revenu de 2 millions destiné à compenser les charges annuelles de la compagnie, que la circulation des marchandises sur son chemin de fer fût au moins de 130,000 tonneaux chaque année. Au-dessous de cette limite de circulation, le droit de péage devrait subir une augmentation d'autant plus forte que la masse des transports diminuerait.

Nous ne devons pas omettre de parler ici d'un autre projet de chemins de fer que M. Jos. Minard, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a aussi publié l'année dernière (92). Ces chemins serviraient à descendre sur les bords d'un canal de petite navigation qui serait ouvert dans la vallée de l'Yvette, les pavés que peuvent fournir en abondance les carrières de grès que l'on exploite le long de cette vallée; ces pavés seraient ensuite embarqués sur ce canal et amenés jusqu'à la plaine de Mont-Souris, près la barrière Saint-Jacques, d'où ils seraient distribués dans les différens quartiers de Paris.

En considérant ce projet sous le double rapport de la facilité qu'il procurerait d'approvisionner la capitale de matériaux qui lui sont indispensables, et de la possibilité de distribuer, dans ses quartiers les plus élevés, le volume

d'eau qui aurait servi à alimenter le canal navigable de l'Yvette, on en reconnaît l'utilité; et il se place au nombre de ceux dont on doit désirer le plus vivement l'exécution.

Nous avons dit que le premier ouvrage qui ait été composé sur les chemins de fer avait été publié en Allemagne en 1813, et que l'auteur de cet ouvrage, M. le chevalier de Gerstner, avait proposé de joindre par un chemin de cette espèce le bassin de la Moldaw à celui du Danube; son projet a été adopté, les travaux lui en ont été confiés, et ils ont été entrepris dans des vues de perfectionnement auxquelles on ne saurait trop applaudir; en effet ce chemin offre à l'expérience trois modes de construction : sur le tiers de sa longueur, les ornières sont formées de pièces de bois; sur le deuxième tiers, de pièces de bois recouvertes de bandes de fer forgé; enfin sur le troisième, de barres de fonte (93).

Ainsi, au bout de quelques années, on saura positivement en quoi consistent les avantages et les inconvéniens de ces divers procédés, eu égard à la valeur et à la durée des matériaux dont chacun d'eux exige l'emploi.

Les voitures dont on fait usage sur cette route pèsent, étant vides, 19 quintaux de Vienne; leur chargement ordinaire est de 50. Un cheval

de force moyenne traîne deux de ces voitures chargées, c'est-à-dire un poids total de 138 quintaux, lorsque les ornières sont en fonte de fer, ou en madriers recouverts de barres de fer forgé : lorsque ces madriers ne sont point recouverts de ce doublage, le même cheval ne traîne que 90 quintaux en marchant au pas, et 40 seulement quand il marche au trot.

On a aussi entrepris depuis peu en Bavière quelques essais sur les chemins de fer. M. Baader, ingénieur des mines de ce royaume, a proposé d'en perfectionner la construction (94). L'emplacement nécessaire pour faire l'épreuve de ses procédés a été mis en conséquence à sa disposition dans les jardins de Nymphenbourg.

Il s'agissait de comparer le nouveau mode de construction à celui qui est généralement adopté en Angleterre. Or, les expériences ont appris qu'un cheval de moyenne force ne traînerait que 80 quintaux sur la route anglaise, tandis qu'il pourrait en traîner 232 sur la route de M. Baader. Mais ne s'élève-t-il pas ici quelques doutes? et si, comme cela paraît certain d'après tout ce que nous avons rapporté, un cheval est capable de traîner jusqu'à 10 tonneaux sur les chemins à ornières d'Angleterre, les expériences de M. Baader ne serviraient-elles

pas à prouver, moins l'excellence des procédés de cet ingénieur, que l'imperfection de la route anglaise qu'il avait fait construire pour être mise en comparaison avec la sienne?

Ce n'est pas seulement en Europe que les questions relatives aux chemins de fer ont occupé les esprits; elles devaient être débattues là surtout où, par le bienfait de l'instruction répandu dans toutes les classes de la société, les lumières de la civilisation semblent devenir plus vives à mesure que la population s'accroît; et où, de nouvelles relations tendant continuellement à se former, le besoin de faire disparaître les distances par des communications faciles devient de jour en jour plus pressant.

La société de souscripteurs qui s'est formée en Pensylvanie au mois de novembre 1824, dans la noble et généreuse intention de provoquer les améliorations de tout genre que le pays est susceptible de recevoir (95), a placé au premier rang de ces améliorations les communications intérieures à ouvrir entre les différentes parties de cet état. L'exemple donné par celui de New-Yorck dans l'exécution du grand canal du lac Érié à la rivière d'Hudson, et le succès extraordinaire dont les promoteurs de ce grand ouvrage ont à se féliciter aujourd'hui, ne pou-

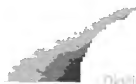
vaient manquer d'exciter l'émulation des états voisins et de provoquer des entreprises semblables. La principale, parmi celles qui appellent l'attention publique, en Pensylvanie, paraît être la communication à ouvrir entre Philadelphie et Pitt'sbourg, sur environ 395 milles de longueur.

Mais cette communication doit-elle être ouverte au moyen d'un canal de navigation ou d'un chemin de fer? Les incertitudes qui se sont élevées à ce sujet se sont prolongées par les objections que les partisans des deux systèmes ont appuyées, les uns sur la difficulté d'un percement à pratiquer au point culminant du canal, les autres sur la difficulté de franchir ce point culminant au moyen de routes à ornières. On a fait valoir de part et d'autre les avantages économiques que présentait la voie de communication qu'on préférait. Pendant le cours de la discussion, il a paru périodiquement, à la fin de 1824 et au commencement de 1825, sous le nom de Robert Fulton, des articles remarquables par la justesse des raisonnemens et le grand nombre de faits instructifs qui y sont consignés sur la navigation intérieure (96). En prenant la défense de cette navigation, l'auteur de ces articles ne pouvait mieux se recommander à

l'opinion publique qu'en empruntant le nom du célèbre ingénieur qui fut, pendant toute sa vie, un des plus zélés partisans des communications par eau, et qui s'occupa avec tant de persévérance des moyens de les multiplier.

Aussi la Société des Améliorations intérieures de Pensylvanie semble-t-elle avoir adopté l'idée d'ouvrir un canal entre Philadelphie et Pitt'sbourg; car, en exécution d'un acte de la législature du 7 avril 1825, elle a présenté, le 3 février de l'année suivante, au gouverneur de cet état, un rapport général sur les opérations préliminaires qui ont déjà été faites pour reconnaître la meilleure direction suivant laquelle devra s'opérer la jonction des eaux qui coulent à l'est et à l'ouest des monts Alleghanis (97).

Au surplus, avant de prendre un parti définitif, cette société a voulu s'éclairer de l'expérience acquise ailleurs sur tout ce qui est relatif à l'importante question dont elle s'occupe. Dès le mois de janvier 1825, elle a chargé M. l'ingénieur Strikland de Philadelphie de se rendre en Angleterre, pour y recueillir, entre autres documens, tous ceux qu'il pourrait se procurer sur les canaux de navigation, les chemins de fer, et les chaussées de Mac-Adam. Les instructions qui lui furent remises, et qui ont été pu-



bliées au commencement de 1826 (98), sont rédigées dans de larges vues de bien public; ce qu'on sait déjà du travail de M. Strikland fonde à croire que ces vues ont été convenablement remplies, et que la prochaine publication de ce travail ajoutera de nouveaux renseignemens à ceux que nous venons d'exposer sur la matière.

Nous nous étions proposé de faire connaître l'état actuel de cette nouvelle partie de l'art de l'ingénieur qui traite de la construction des chemins de fer. Nous avons rapporté les nombreuses expériences sur lesquelles sont appuyées les règles de cette construction, et nous avons indiqué les principaux exemples qui ont été donnés de l'application de ces règles. Nous allons ajouter à ces recherches nos propres réflexions; peut-être contribueront-elles à lever quelques incertitudes et à éclairer quelques points d'économie publique, sur lesquels on ne peut trop fixer l'attention.

Tout le monde convient qu'en ouvrant entre divers points d'un même territoire une communication quelconque, soit au moyen d'un canal de navigation, soit au moyen d'un chemin de fer, on pourra rendre praticable la circulation de certaines productions qui jusqu'alors, faute de

débouchés, restaient plus ou moins dépréciées entre les mains de leurs possesseurs. L'accroissement de valeur que leur procure la facilité de les transporter devient ainsi, pour ceux qui les produisent et ceux qui les consomment, une véritable augmentation de richesses dont une multitude d'individus profitent. Ce que nous disons ici des productions du sol doit s'entendre également des produits de l'industrie, et, en général, de toutes les matières qui, susceptibles d'échange, sont l'objet d'un commerce quelconque. Avancer que, dans l'état actuel de notre civilisation, il est indispensable d'entretenir les communications intérieures déjà existantes et d'en ouvrir autant que possible de nouvelles, c'est, en quelque sorte, professer un axiome, et répéter une vérité devenue triviale.

Mais la possibilité d'entreprendre de pareils travaux est nécessairement limitée par les ressources plus ou moins étendues dont on a la disposition. Les dépenses que ces travaux entraînent deviennent donc un objet important à considérer; car ce qu'on économisera dans l'exécution d'une voie de communication quelconque, pourra être employé à en opérer le prolongement, ou bien à établir ailleurs quelque autre voie qui ne sera pas moins utile. Voilà

nemment le choix des moyens de communication qu'il est le plus avantageux d'ouvrir entre deux points déterminés ne peut jamais être indifférent, et ce n'est pas seulement dans l'intérêt des gouvernemens qui font ces sortes d'entreprises, c'est encore dans l'intérêt des particuliers qui doivent effectuer le transport des denrées à la circulation desquelles ces voies de communication sont destinées. Il n'est point en effet indifférent pour ces derniers d'employer la moindre somme possible de forces pour opérer le charroi des masses, la valeur de la force motrice et de ses organes étant toujours, en définitive, ce qui sert à régler la dépense des transports.

Nous avons raisonné jusqu'à présent dans l'hypothèse où le trésor de l'état supporterait les frais de premier établissement et d'entretien des routes et des canaux navigables : ceci peut avoir lieu partout où le gouvernement est assez riche pour faire de pareilles avances sans nuire à d'autres services, ou assez économe pour n'avoir d'autre besoin à satisfaire que celui de pourvoir à des services utiles.

Mais il n'en est pas toujours ainsi; et presque toujours on est obligé de recourir aux ressources de la richesse privée pour mettre à

exécution ces grandes voies de communication intérieure. Il se forme alors, comme en Angleterre, des compagnies qui les entreprennent à leurs frais et risques, moyennant la concession qui leur est faite d'un droit de péage perçu à leur profit sur les marchandises et productions de toute nature au transport desquelles ces voies de communication doivent servir.

On est sûr du moins, en adoptant ce mode, que les compagnies de concessionnaires évalueront leurs dépenses et leurs profits avec le plus grand soin, et qu'elles s'exposeront rarement à placer leurs fonds d'une manière improductive; condition essentielle que les administrations publiques négligent quelquefois de remplir.

Recherchons d'abord comment l'utilité d'une voie de communication quelconque doit être appréciée, dans l'intérêt de ceux qui acquittent les dépenses de son exécution.

Or ces dépenses forment un capital dont les concessionnaires de cette voie doivent retirer annuellement un certain intérêt. Ils sont obligés, en outre, de pourvoir aux frais d'entretien et de réparation qu'elle exige; enfin, la surveillance des travaux à faire et la perception du péage exigent un certain nombre d'agens dont il faut acquitter le salaire; c'est à la somme de

[illegible] dépenses annuelles que le montant du [illegible] doit subvenir.

Par conséquent, il est nécessaire que le droit perçu sur chaque tonneau de marchandises, et par kilomètre de distance, soit fixé de telle sorte, que la masse de denrées qui circulent sur cette route, de quelque nature qu'elles soient, puisse couvrir les dépenses annuelles dont nous venons d'indiquer les élémens. Plus le droit de péage sera élevé, moins il faudra de tonneaux de marchandises pour en acquitter le montant, et réciproquement.

Voyons maintenant comment doit s'apprécier l'utilité d'une voie de communication dans l'intérêt de ceux qui s'en servent.

Leurs dépenses se composent : de l'intérêt des capitaux qu'ils ont employés à l'acquisition de leurs équipages, de leur détérioration annuelle évaluée en argent, de leurs réparations et de leur entretien, enfin, de la valeur de la force motrice qui effectue le transport des matières. Ces frais, répartis par tonneau de marchandises et par kilomètre de distance, constituent la dépense effective du roulage ; et l'on conçoit qu'elle doit varier suivant la nature de cette voie, et l'espèce de force motrice qu'on y met en action.

Il est évident d'ailleurs que la voie de communication la plus utile dans le sens des entrepreneurs de roulage, est celle sur laquelle les dépenses de transport sont les moindres; car leurs profits augmentent toujours avec la masse des matières transportées, et cette masse s'accroît ordinairement d'autant plus qu'il en coûte moins pour la mettre en mouvement.

Quant aux consommateurs, la valeur intrinsèque de la marchandise transportée s'accroît nécessairement pour eux : 1°. du montant des droits de péage qu'elle supporte; 2°. des dépenses effectives de roulage qu'elle nécessite.

Ces droits et ces dépenses formant les deux élémens du prix total des transports que les consommateurs acquittent, il est évident que la voie de communication la plus avantageuse pour eux est toujours celle sur laquelle la somme de ces deux élémens, qui d'ailleurs ne sont liés entre eux par aucune relation, est la moindre possible.

Il s'agit maintenant de les apprécier séparément sur les routes ordinaires, les chemins de fer et les canaux de navigation.

On trouve, sur le prix moyen de construction et d'entretien des routes royales de France, un document précieux dans les observations pré-

liminaires qui servent d'introduction à la statistique de ces routes, que M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines a fait publier en 1824 (99).

Il reste à ouvrir, dans plusieurs de nos départemens, 1458 kilomètres de routes, qui ont été estimés 26,230,055 francs; c'est par conséquent au prix de 18,000 francs le kilomètre.

D'après le même document, l'entretien annuel de cette longueur de routes doit coûter 760,563 fr., ou par kilom. 522 fr.; à quoi il faut ajouter, dans l'hypothèse de concession que nous avons adoptée, l'intérêt du capital employé, les frais de surveillance des travaux, et ceux de perception du péage, que l'on peut évaluer ensemble à 1278 fr., ce qui porte à 1800 fr., ou au dixième de la dépense de première construction, les charges annuelles des concessionnaires, par kilom. de distance; évaluation qui, pour le dire en passant, est de 25 pour 100 au-dessous de l'évaluation des dépenses annuelles qu'exigent les routes d'Angleterre, quoiqu'elles soient beaucoup moins larges que les nôtres.

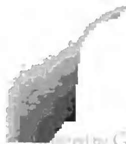
Le prix du transport d'un tonneau de marchandises sur nos routes, par le roulage ordinaire, était, il y a 50 ans, de 32 centimes par kilomètre. Il est aujourd'hui de 40 (100).

Comme on a moins d'expérience dans la construction des chemins de fer que dans celle des routes ordinaires, il y a eu jusqu'à présent beaucoup plus d'incertitudes sur les dépenses de construction de ces chemins. On a commencé, en Angleterre, par les évaluer, à raison de 1000 livres sterling le mille. Bientôt on s'est aperçu que cette évaluation était fort au-dessous de la réalité, et elle a été portée successivement de 2000 à 5000 liv. sterl. pour les chemins à double voie (101). Cette dernière évaluation, qui paraît n'être autre chose que le relevé de dépenses faites pour l'exécution d'un grand nombre de ces ouvrages, est aujourd'hui généralement admise; elle porte à 74,535 fr. le prix du kilomètre de chemin de fer à double voie.

Suivant l'estimation de MM. Séguin, ce prix serait de 103,300 francs pour le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon (102).

Il serait, suivant M. Navier, de 118,000 fr., pour le chemin de Paris au Havre (103); ce qui établit entre ces trois évaluations un prix moyen de 98,612 francs environ.

Les charges annuelles des concessionnaires, estimées, comme pour les routes ordinaires, au taux de 10 pour 100, pour l'intérêt du capital primitivement employé, les frais d'administra-



tion, de surveillance des travaux et de perception du péage, seraient de [illegible] fr. par kilom.

Quant aux dépenses de roulage sur les chemins de fer, au moyen de chevaux, car ce sont les seuls moteurs qui soient également applicables sur ces chemins, les routes ordinaires et les canaux de navigation, il existe aussi quelques différences entre les évaluations qui en ont été faites par différens ingénieurs.

D'après M. Tredgold, ces dépenses seraient en Angleterre de 0,049 par tonneau et par kilomètre (104).

Suivant M. Navier, elles ne seraient en France que de 0,037 (105); ce qui donne un prix moyen de 0,043 que nous adopterons.

Il nous reste, en procédant dans le même ordre, à déterminer les dépenses de premier établissement des canaux de navigation, et les charges annuelles qui pèseraient sur leurs concessionnaires.

Le canal de Languedoc a coûté, à la fin du XVII[e] siècle, 14,169,399 livres (106); mais alors le marc d'argent était à 28 livres : il est aujourd'hui à 54 francs. Ainsi ce canal aurait coûté de notre temps 27,326,698 francs; sa longueur étant de 244[kil],30, le kilomètre reviendrait à 111,856 francs.

Le canal du centre a coûté, il y a quarante ans, 11,328,056 francs (107); sa longueur est de 116^{kil},31 : c'est par conséquent à raison de 97,063 francs le kilomètre.

On trouve, à la fin du premier volume de l'Histoire de la navigation intérieure de Philips, traduite par M. l'ingénieur Cordier, une liste de cinquante-neuf canaux exécutés en Angleterre, et dont le développement total est de 1688 milles $\frac{7}{8}$. Ils ont coûté ensemble 11,216,845 livres sterling (108), c'est-à-dire à très peu près 6645 livres sterling le mille, ce qui revient, en mesures et en monnaies de France, à 100,772 francs le kilomètre.

Ces canaux étant de grande et de petite navigation, le prix que nous venons de trouver doit être considéré comme le prix moyen des canaux d'Angleterre.

Nous ajouterons à ces documens celui encore plus authentique que nous fournit l'histoire officielle du canal du lac Érié à la rivière d'Hudson, qui a été publiée en 1826, par ordre de l'état de New-Yorck. Cette importante collection se termine par le compte détaillé de toutes les dépenses que l'exécution de ce canal a occasionées : elles s'élèvent à 8,273,122 dollars (109).

La longueur de ce canal étant de 363 milles,

on voit que la dépense a été de 22,790 dollars par mille, c'est-à-dire, en monnaie et en mesures de France, de 76,414 francs par kilomètre.

Le prix moyen du kilomètre de canal de navigation, déduit de ceux qui s'appliquent aux quatre exemples que nous avons choisis, est de 96,526 francs; et, par conséquent, les charges annuelles des concessionnaires peuvent être évaluées à 9652 francs.

Les dépenses de roulage sur les canaux de navigation étant calculées, d'après les expériences faites en Angleterre par M. Bevan, ingénieur du canal de *grande jonction*, on les trouve de 0^{h},21 sterling par tonneau et par mille, ou de 0^{f},0134 par tonneau et par kilomètre (110).

Il résulte des observations citées dans les mémoires de M. Gauthey (111), que les dépenses de roulage sur les canaux de Briare et de Loing sont de 0^{f},0190, et sur le canal de Languedoc de 0^{f},0160 par tonneau et par kilomètre.

En concluant de ces trois exemples la dépense moyenne du roulage sur les canaux de navigation, on la trouve de 0^{f},0160.

Si l'on compare, avant d'aller plus loin, les frais d'établissement des chemins de fer et des canaux navigables, tels que nous venons de les déterminer, on voit qu'ils sont entre eux dans

le rapport de 98 à 96, c'est-à-dire à très peu près égaux.

M. Tredgold et ceux qui, comme lui, ont prétendu que les dépenses de construction d'un canal s'élevaient au double des dépenses de construction d'un chemin de fer, ont donc avancé une erreur grossière; erreur qu'il importe d'autant plus d'extirper à sa naissance, qu'elle ne pourrait manquer, en se propageant, d'entraîner de fâcheux mécomptes.

Les faits notoires que nous venons d'énumérer fournissent maintenant les données suffisantes pour assigner, avec plus d'exactitude qu'on ne l'a fait jusqu'ici, les différens prix de transport sur chacune des trois voies de communication qu'il s'agissait de comparer, et pour justifier, par des motifs positifs, la préférence que l'on doit accorder à l'une d'entre elles dans des circonstances données.

C'est toujours pour effectuer la circulation d'une certaine quantité de marchandises, que l'on se propose d'ouvrir une communication quelconque entre deux points fixes. Connaissant d'ailleurs le montant des charges annuelles que doivent acquitter les droits de péage perçus sur cette communication et les dépenses effectives de roulage qu'elle occasione, on trouve



une voie de communication entre des points plus ou moins éloignés, soit en suivant le cours d'une vallée, soit en traversant un pays de plaine, un canal navigable devra toujours être préféré à un chemin de fer, dans les intérêts du commerce.

Mais il peut se rencontrer une multitude de cas d'exception, dans lesquels le maintien des mêmes intérêts exigera qu'il soit pris un parti contraire.

Si, par exemple, on doit faire descendre du sommet d'une côte les matières extraites d'une carrière ou d'une mine, il sera presque toujours plus avantageux de pratiquer un chemin de fer à la surface du sol que d'y ouvrir un canal en tranchée. Ainsi, en conservant l'hypothèse d'une exploitation annuelle de 100,000 tonneaux, on trouve immédiatement que le rapport numérique de 125 à 98, entre les charges annuelles d'un canal et celles d'un chemin de fer, est la limite au-dessous et au-dessus de laquelle la première de ces voies l'emporte sur la seconde, ou lui est inférieure.

On voit comment, en admettant que les charges annuelles d'un canal soient doubles de celles d'un chemin de fer, on arriverait, avec M. Tredgold et quelques autres, à conclure que

les chemins de fer sont plus avantageux que les canaux.

Il est un cas où leur avantage se manifeste évidemment, c'est celui où des chariots chargés, qui descendent d'eux-mêmes sur des plans inclinés, font en même temps remonter des chariots vides. Le prix du transport se réduit alors aux seuls droits de péage établis pour l'acquittement des dépenses annuelles des concessionnaires du chemin; ce prix se réduirait, dans l'exemple que nous avons choisi, à 0^f,098 au lieu de 0^f,141. Pour que le transport par eau présentât le même avantage, il faudrait que le kilomètre de longueur de canal ne coûtât que 82,000 fr. au lieu de 96,520 fr.

Nous voici parvenus au terme de nos recherches sur les avantages respectifs des chemins de fer et des canaux de navigation. Quoique les ingénieurs anglais qui ont écrit sur cette matière aient manifesté clairement l'intention de faire valoir la première de ces voies, tous ne paraissent pas également convaincus de sa supériorité. Au surplus, ils se seraient peut-être accordés à déduire des faits consignés dans l'Histoire de la navigation intérieure de leur propre pays, des conclusions différentes de cel[illegible]'ils ont tirées de leurs raisonnemens

s'ils eussent moins négligé l'étude et le débat de ces faits. Soit que l'examen auquel ils les auraient soumis les eût conduits à les admettre ou à les rejeter, ils eussent donné à leurs ouvrages, en y insérant quelques vérités de plus, un degré d'utilité qui en aurait augmenté le prix. En comparant entre elles des voies de communication de nature aussi différente que les canaux de navigation et les chemins de fer, on doit les envisager sous tous leurs aspects et se montrer impartial dans la discussion qu'on établit à leur sujet. Or, quand on lit avec attention ce que nos voisins ont publié sur les chemins de fer, on ne peut guère leur accorder le mérite de cette impartialité; il faut convenir avec eux que cette espèce de voie est la seule que l'on puisse appliquer avec avantage à certaines localités; mais c'est à ces localités seules qu'il faut en borner l'application.

Le désir d'en étendre l'usage a néanmoins provoqué, en Angleterre, tant sur les résistances qui s'opposent au mouvement des voitures, que sur le mode d'action et l'énergie de leurs différens moteurs, une multitude d'observations et d'expériences dont l'art et la science se sont enrichis. Les recherches auxquelles les machines à vapeur locomotives ont donné lieu ont con-

tribué aussi à éclaircir quelques points de la théorie des machines fixes à basse ou à haute pression, et ont indiqué quelques perfectionnemens dont la construction de tous ces appareils est susceptible.

L'emploi des machines à vapeur comme locomotives sur les chemins de fer, est encore aujourd'hui, en Angleterre, l'objet d'une grande question. Quand même on admettrait, avec les partisans de ce moyen, qu'il offre plus d'économie que l'usage des chevaux, il est essentiel d'observer que le combustible à la consommation duquel ces machines doivent la production de leur force motrice est, chaque jour, enlevé à des dépôts naturels que leur vaste étendue ne rend pas néanmoins inépuisables. La valeur de ce combustible s'élèvera donc non-seulement avec le prix de toutes choses, mais encore à mesure qu'il deviendra plus rare, ou plutôt à mesure qu'on craindra davantage qu'il ne le devienne. Les calculs économiques que l'on fonderait sur sa valeur actuelle ne conviennent qu'à un état de choses transitoire, et ne peuvent être admis que sous cette réserve.

L'emploi des chevaux n'est pas sujet aux mêmes chances; les forces motrices qu'ils sont propres à développer ont pour aliment des pro-

ductions du sol que la nature renouvelle chaque année, et qu'elle continuera de reproduire avec d'autant plus d'abondance que l'agriculture fera plus de progrès. Ainsi, tandis que les machines locomotives ne pourront être mises en action qu'au prix toujours croissant d'un combustible qui s'épuise, les moteurs animés continueront de retrouver dans le retour invariable des saisons la source intarissable de leur existence et de leurs forces. Si de telles vérités ont été senties en Angleterre, combien, à plus forte raison, les esprits doivent-ils en être frappés en France dont le sol est plus fertile, et où les mines de charbon sont beaucoup plus rares.

Ces réflexions doivent suffire pour régler, avec une sage circonspection, l'usage des machines locomotives, et peut-être pour le restreindre au voisinage des mines de houille. Au surplus, l'expérience et l'intérêt particulier des concessionnaires de chemins de fer les éclaireront mieux que des préceptes dans le choix des moteurs qu'ils devront employer.

Nous ne parlons ici que des concessionnaires de chemins de fer; car, chez nous, où toutes les grandes routes sont ouvertes et entretenues aux frais du trésor de l'État ou des caisses départementales; chez nous, où il y aurait encore

tant de dépenses à faire pour perfectionner ces anciennes voies de communication, on ne peut espérer que d'ici à long-temps il y ait des fonds publics disponibles pour en établir d'une nouvelle espèce.

Ceci explique pourquoi les ingénieurs français ont paru jusqu'à présent s'occuper si peu d'une matière au sujet de laquelle tant de discussions se sont élevées de l'autre côté de la Manche. L'art, mieux connu, étend aujourd'hui la carrière ouverte à leurs talens; et ces talens, n'en doutons pas, seront mis à profit, de quelque source que proviennent les fonds qui seront désormais consacrés à l'exécution des canaux et des chemins de fer; car le savoir et l'expérience seront toujours les plus sûrs garans du succès de ces entreprises.

Il n'existe, dans les ateliers de l'industrie manufacturière, aucune machine qu'on ne soumette au calcul pour en évaluer l'effet utile; et la meilleure est toujours, comme on sait, celle qui produit cet effet avec la moindre dépense d'argent et de force motrice.

Or, il suffit de la plus légère attention pour reconnaître que toute voie de communication forme, avec l'espèce de véhicule qui est approprié à s'y mouvoir, un seul et même appareil,

... à l'aide du calcul et des lois ... apprécier les avantages et ... Il est évident qu'il n'y a, dans ... données, qu'un seul de ces ... on puisse obtenir le plus grand ... sous la condition de la moindre dé... de moyens. Que l'on considère ... l'énormité des masses qui circulent ... de communication de toute nature ... pays tel que le nôtre est traversé, que ... considère les distances qu'elles y parcou... et l'on jugera combien la recherche du meilleur système de transports présente d'im...ance, et combien son adoption économise... de richesses qui pourraient être utilement employées à d'autres usages.

Soumettre de telles questions à l'investigation d'hommes éclairés, c'est en provoquer la solution avec l'assurance de l'obtenir. Nous serons heureux d'avoir fait les premiers pas sur le chemin qui y conduira, et d'avoir ainsi préparé à d'autres ingénieurs appliqués et laborieux l'occasion de rendre de nouveaux services dans l'exercice de leurs attributions.

REMARQUES ET PREUVES.

(1) *Primùm Pœni dicuntur lapidibus vias stravisse ; postea Romani eas per omnem ferè orbem disposuerunt, propter rectitudinem itinerum, et ne plebs esset otiosa.* (Isidori Hispalensis episcopi Originum, lib. XV, cap. 16.)

Ce passage d'Isidore de Séville ne rappelle qu'une tradition; mais comme il vivait dans le VII[e] siècle, les faits sur lesquels cette tradition était fondée pouvaient être alors généralement connus; d'un autre côté, le témoignage de Pline, sur les premiers carrelages qui furent exécutés en Italie, annonce assez que l'usage de cette espèce de pavé y fut apporté d'Afrique. En effet, on le désignait encore de son temps sous le nom de *pavimentum barbaricum ;* ce ne fut d'ailleurs qu'après la troisième guerre punique que le temple de Jupiter Capitolin fut carrelé. (*Naturalis Historiœ*, lib. XXXVI, cap. 25.)

(2) 311 ans avant notre ère.

(3) Les chaussées romaines étaient ordinairement formées de quatre couches : un lit de pierres plates, *statumen ;* un lit de cailloux ou de fragmens de briques, *ruderatio ;* une couche de ciment ou un conroy de marne, *nucleus ;* enfin une quatrième couche, composée de cailloux ou de graviers, *summa crusta.* L'épaisseur de ces quatre couches était de 1[m] ou de 1[m],20.

(4) Histoire des grands chemins de l'empire romain, par Nicolas Bergier.

(5) Tibulle s'adressant à Messala, qui faisait const à ses frais la route de *Tusculum* et *d'Albe*, lui dit (El lib. 1) :

Nec taceant monumenta viæ, quæ Tuscula tellus,
Candidaque antiquo detinet Alba lare.
Namque opibus congesta tuis hic glarea dura
Sternitur : hic aptâ jungitur arte silex.
Te canit Agricola, è magnâ quum venerit urbe
Serus, inoffensum retulerit que pedem.

(6) André Palladio, dans son Architecture (*lib. l* cap. 3), et Baptiste Alberti (*De re ædificatoriâ*, lib. l cap. 6) prétendent que le milieu de ces *grandes rou* était destiné aux gens de pied, et que leurs parties la rales étaient destinées aux chevaux et aux voitures. Nico Bergier (liv. II, chap. 30) trouve cette opinion étrang et il a raison : il est très probable que le contraire av lieu, et que les voitures suivaient le milieu de la chauss tandis que ses deux côtés étaient réservés aux piétons.

(7) Pline, après avoir cité des exemples de vitesse traordinaire dans des courses à pied, ajoute : *Cuju admiratio ita demum solida perveniet, si quis co nocte ac die longissimum iter vehiculis tribus Tibe Neronem emensum, festinantem ad Drusum fra ægrotantem in Germaniâ : In eo fuerunt CCM pass. turalis Historiæ*, lib. VII, cap. 20.)

(8) Voyez dans Strabon, lib. III, cap. 3, lib. V, c lib. XVI, cap. 1, les divers passages où il décrit le du Tage et du Duero, du Pô, du Tigre et de l'Euph

(9) Voici la traduction de ce passage de Strabo nous semble tout-à-fait digne d'intérêt.

« Je l'ai déjà dit, et je le répète enc

» surtout d'être remarqué dans cette contrée (la Gaule
» celtique), c'est la correspondance parfaite qui règne
» entre ses divers cantons, par les fleuves qui les arrosent
» et par les deux mers dans lesquelles ces derniers se dé-
» chargent; correspondance qui, si l'on y fait attention,
» constitue en grande partie l'excellence de ce pays, par
» la grande facilité qu'elle donne aux habitans de com-
» muniquer les uns avec les autres, et de se procurer ré-
» ciproquement tous les secours et toutes les choses né-
» cessaires à la vie. Cet avantage devient surtout sensible
» en ce moment, où, jouissant des loisirs de la paix, ils
» s'appliquent à cultiver la terre avec plus de soin. Une
» si heureuse disposition des lieux, par cela même qu'elle
» semble être l'ouvrage d'un être intelligent plutôt que
» l'effet du hasard suffirait pour prouver la Providence.
» Car on peut remonter le Rhône bien haut avec de grosses
» cargaisons, qu'on transporte en divers endroits du pays
» par le moyen d'autres fleuves navigables qu'il reçoit, et
» qui peuvent également porter des bateaux pesamment
» chargés. Ces bateaux passent du *Rhône* sur la *Saône*,
» qui se décharge dans ce dernier fleuve. De là les mar-
» chandises sont transportées par terre jusqu'à la *Seine*,
» qui les porte dans l'Océan à travers le pays des *Lexovii*
» et des *Caleti*, éloignés de l'île de Bretagne de moins
» d'une journée.

» Cependant, comme le Rhône est difficile à remonter
» à cause de sa rapidité, il y a des marchandises que l'on
» préfère de porter par terre au moyen de chariots; par
» exemple, celles qui sont destinées pour les *Arverni*, et
» celles qui doivent être embarquées sur la *Loire*, quoique
» ces cantons avoisinent à peu près le *Rhône*. Un autre

[illegible] est unie, et [illegible] On charge [illegible] qui offre une na- [illegible] sort des Cévennes et va se [illegible] l'Océan.

[illegible] à une petite distance l'*A-* [illegible] chemin qu'on a ensuite à faire [illegible] est plus long : on l'évalue à 7 [illegible] kilom.). » Ce dernier fleuve [illegible] dans l'Océan. (Lib. IV, cap. 1.)

[illegible] élevé la question de savoir si les [illegible] usage des moulins à eau. Il est certain [illegible] l'usage en était connu à Rome dans les [illegible] de notre ère. Le témoignage de Vitruve, [illegible] Auguste, ne laisse aucun doute à cet égard. [illegible] du Xe livre de son Architecture est inti- [illegible] *Tympanis ad molendum farinam ;* et [illegible] pas aujourd'hui le mécanisme des mou- [illegible] de clarté et de précision que cet auteur [illegible] description qu'il en donne.

[illegible] écrivait environ 60 ans plus tard, ne parle [illegible] des moulins à eau que comme d'un [illegible] en remplacement du pilon, non pour [illegible] mais pour monder le blé.

[illegible] Code théodosien, *De canone frumentario urbis Romæ* (lib. IV, an. 398).

[illegible] *Capitul. reg. Franc.*, tom. I, col. 256, 303, 337, [illegible] et 520.

[illegible] Capitulaire de Kiersy, juillet 877. (*Voy.* le Recueil général des anciennes lois françaises, par MM. Jourdan, Decrusy et Isambert, t. I, p. 85.)

(14) Voyez, dans le Traité de la police, au titre 29 du Vᵉ livre, le chapitre 6, intitulé : *Des traverses et des violences que furent faites aux marchands de poisson de mer sur leurs routes au commencement de leur commerce, pour avoir de leurs poissons et pour exiger d'eux des péages excessifs.*

« Les grosses abbayes, qui ont pour règle l'abstinence » de la viande, et les seigneurs des lieux situés sur les » routes des côtes de la mer à Paris, trouvèrent que c'eût » été une commodité très grande pour eux d'arrêter les » chasse-marées et d'en tirer leurs provisions de poisson. » Comme ce commerce était encore nouveau, au commencement du XIVᵉ siècle, quelques-uns se servirent » du prétexte des droits de péage, qui leur étaient dus » en argent sur toutes les denrées qui passaient sur leurs » terres. Ils voulurent le prendre en marchandises à l'égard du poisson, etc. »

Les abbayes et autres seigneurs ne négligeaient pas, comme on voit, d'exercer leurs déprédations sur la denrée qui se prêtait le mieux à en assurer le profit. Les chasse-marées n'avaient en effet rien de mieux à faire que de se soumettre à acquitter, sans réclamations ni délais, les droits arbitraires de péage en nature que l'on exigeait d'eux ; autrement ils se seraient exposés à perdre, pendant le temps qu'auraient duré leurs contestations, toute la valeur du poisson frais dont leurs voitures étaient chargées.

(15) Une des causes qui firent établir et qui maintinrent pendant plusieurs siècles la *hanse*, ou association des marchands par eau de Paris, fut la nécessité de se réunir pour *assurer* en quelque sorte les denrées transportées sur la Seine, contre les déprédations auxquelles elles

étaient exposées. Cette compagnie privilégiée, composée des plus riches commerçans, faisait construire des bateaux plus grands qu'un simple particulier n'aurait pu le faire. Cela favorisait un monopole dont alors l'intérêt général réclamait peut-être l'exercice. Les circonstances ont changé, mais l'usage des grands bateaux s'est conservé.

(16) Zendrini, mathématicien de la république de Venise, est le premier qui ait attribué l'invention des écluses aux frères Denis et Pierre-Dominique de Viterbe, qui construisirent, en 1481, celle de *Stra*, à l'embouchure du canal de Padoue, dans la *Brenta*. (*Voy*. le tom. VIII *della Racolta*, etc., pag. 291.)

Le père Frisi a soutenu la même opinion. (*Voy*. ses Institutions de Mécanique, pag. 426, et son Traité des rivières et des torrens.)

Le professeur Orioli de Viterbe, voulant assurer à ses deux compatriotes l'honneur de cette découverte, s'est livré à de nouvelles recherches, desquelles il résulte que les frères Denis et Pierre-Dominique étaient des hommes très industrieux et mécaniciens très habiles; d'où il conclut que si en effet l'écluse de *Stra* est la première qui ait été construite, ils sont évidemment les inventeurs de cet ingénieux appareil; mais il n'affirme pas, avec le père Frisi, qu'il n'a pas existé d'écluses à sas, antérieurement à cette époque, en quelque autre endroit de l'Italie.

M. J.-B. Masetti, professeur de Mécanique et d'Hydraulique à l'université de Bologne, a enrichi d'une note très curieuse à ce sujet un mémoire qu'il a publié l'an dernier sur l'origine et la formation du canal navigable de cette ville. Il commence par rappeler le passage suivant de Léon-Baptiste Albert :...... *Duplices facito clausuras, secto duo-*

bus locis flumine, spatio intermedio quod navis longitudinem capiat, ut si erit navis conscensura cum eo applicuerit, inferior clausura occludatur, aperiatur superior : sin autem descensura, contrà claudatur superior, aperiatur inferior, navis eo pacto cum istá parte fluenti evehetur fluvio secundo. (*De re edificatoriâ*, lib. X, cap. 12.) Voilà bien sans doute la description exacte d'un sas et de ses deux portes, ainsi que de la manœuvre d'un bateau qui monte ou qui descend une écluse. Or, on sait que Léon-Baptiste Albert dédia son ouvrage au pape Nicolas V, en l'année 1452; d'où il suit évidemment qu'il y avait des écluses à sas déjà établies à cette époque. Bien plus, le père Lecchi, dans son Introduction historique au Traité des canaux navigables, publiée pour la première fois en 1776, s'appuyant du témoignage d'un biographe de Philippe-Marie Visconti, duc de Milan, avance que des écluses à sas, connues sous le nom de *conche*, existaient dans le Milanais vers l'année 1420. Mais le père Frisi contesta ce fait, prétendant que le passage du biographe avait été mal interprété.

Quoi qu'il en soit de cette contestation, le témoignage de Léon-Baptiste Albert n'en reste pas moins dans toute sa force; et il demeure constant que l'invention des écluses est antérieure à 1452.

M. Joseph Bruschetti, auteur d'une Histoire des projets et des ouvrages exécutés pour la navigation intérieure du Milanais, pense que la première écluse à portes qui ait été construite est celle de *Viarenna*, située dans les faubourgs méridionaux de Milan; et il en attribue la construction aux deux ingénieurs Philippe de Modène et Fioravante de Bologne, qui vivaient vers le milieu du XVe siècle. Cepen-

dant il dit plus loin que cette même écluse de *Viarenna* était établie depuis environ un siècle, lorsque Léonard de Vinci fut fait ingénieur du duc de Milan. Or, peu de temps après, en 1497, il était en cette qualité au service de Louis Sforce, dit le Maure, sur lequel le Milanais fut conquis par Louis XII; d'où il suit que l'invention des écluses à sas remonterait au commencement du XV[e] ou à la fin du XIV[e] siècle. (*Voyez* l'ouvrage intitulé *Notizie storiche intorno all' origine ed alla formazione del canale naviglio di Bologna*, etc. Bologne, 1825.)

(17) « Pour ouvrir la navigation de Milan jusqu'au lac » de Côme, il fallait continuer le canal de Martesana de » Trezzo à Brivio, et y construire des écluses sur une lon- » gueur de 6 milles et demi. Léonard, sous le gouverne- » ment français, en forma le projet...... Méda l'exécuta » à la fin du XVI[e] siècle. J. Ambroise Mazenta dit qu'on » l'appelait de son temps la *machine des Français*, et » qu'elle ne réussit pas parce que Méda n'avait pas com- » pris l'idée de Léonard. On l'a perfectionnée de nos » jours.

» En France, Vinci avait été chargé du projet d'un ca- » nal qui devait passer par Romorentin. » (*Essai sur les ouvrages physico-mathématiques* de Léonard de Vinci, etc., par J.-B. Venturi, *professeur de Physique à Modène*. Paris, 1797.)

(18) Le canal de Briare fut commencé en 1605. Les travaux, interrompus par la mort de Henri IV et la retraite de Sully, furent repris en 1638 et terminés en 1642. (*Des Canaux de navigation*, par Lalande, pag. 330)

(19) Le canal de Languedoc a été commencé en 1667

et terminé en 1684. Ses écluses ont 30 mètres de longueur et 6 mètres d'ouverture entre leurs bajoyers. (*Ib.*, p. 32.)

(20) On trouve une description détaillée des canaux entrepris par le duc de Bridgewater, dans un écrit du temps intitulé : *The History of inland navigations particularly those of the duke of Bridgewater in Lancaster and Cheshire*, etc. (London, 1769.) On peut encore consulter l'ouvrage de Philips : *A general History of inland navigation foreign and domestic, containing a complete account of the canals already executed in england with considerations on those projected.* Cette Histoire de la navigation intérieure a été traduite par M. Cordier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. (Paris, 1819.)

L'auteur y a inséré une notice assez étendue sur James Brindley. Cet habile ingénieur naquit en 1716 et mourut en 1772. On peut voir aussi à son sujet la grande Biographie britannique d'André Kippis.

(21) D'après un tableau joint au premier mémoire de M. Dutens, sur les travaux publics de la Grande-Bretagne, le développement total des canaux exécutés jusqu'en 1804 est

	Milles.		Kilom.
En Angleterre, de	2017 $\frac{1}{4}$	ou de	3246,8
En Écosse, de ...	191 $\frac{1}{2}$	.....	308,5
	2208 $\frac{3}{4}$	.....	3555,3.

Suivant le tableau des canaux de la Grande-Bretagne, dressé par Philips, et inséré dans la traduction de son Histoire de la navigation intérieure par M. Cordier, le développement de ces canaux serait de 2294 milles; l'une

et l'autre évaluation diffèrent d'ailleurs très peu entre elles, et nous avons adopté la seconde.

Les canaux dont MM. Dutens et Cordier ont formé leurs tableaux présentent dans leur nombre une plus grande différence. En effet, le premier de ces tableaux en contient 120, tandis que le second n'en comprend que 110.

(22) Voici la liste, par ordre alphabétique, des canaux qui ont été exécutés en France jusqu'en 1803.

Désignation des canaux.	Longueur en kilomètres
Canal de la Bassée..........	6,903
Canal de Briare............	55,301
Canal de Brouage..........	15,870
Canal de la Bruche..........	21,120
Canal de Calais à Saint-Omer.	29,542
Canal du Centre............	116,812
Canal de Cette.............	1,530
Canal de Charras..........	19,874
Canal de la Colme..........	24,785
Canal Crozat..............	41,551
Canal de la Deulle..........	65,669
Canal de Dunkerque à Furnes.	14,090
Canal d'Hazebrouk..........	51,845
Canal de La Fère...........	3,800
Canal de La Robine.........	31,711
Canal de Loing............	52,934
Canal de Lunel............	10,000
Canal du Midi.............	244,292
Canal d'Orléans...........	73,304
	880,933

Désignation des canaux.	Longueur en kilomètres.
Report......	830,933
Canal de la Peyrade.........	3,000
Canal de Préaven............	1,948
Canal de Rive-de-Gier.......	16,177
Canal de Saint-Omer à Aires.	10,500
Canal de Saint-Pierre.......	1,430
Canal de Vauban............	38,619
Longueur totale.........	952,607

(*Dictionnaire hydrographique de la France*, par M. Théodore Ravinet. Paris, 1824.)

(23) Voyez les *Mémoires sur les Travaux publics de l'Angleterre*, par M. Dutens; l'*Introduction à l'Histoire de la navigation intérieure*, par M. Cordier; les *Considérations sur les canaux et le mode de leur concession*, par M. P.-S. Girard.

(24) Le mode d'intervention des gouvernemens particuliers et du congrès général des États-Unis, dans l'examen des projets de canaux et leur mise à exécution, est clairement expliqué dans le rapport des commissions de souscripteurs, et les diverses lois portées sur la matière. On peut consulter notamment celles qui sont relatives au canal de la Chesapeake et de la Delaware. (*A collection of the laws relative to the Chesapeake and Delaware canal, passod by the legislature of the states of Maryland, Delaware, and Pensylvania subsequent to the year* 1798. Philadelphia, 1823.)

Il a été publié, en 1821, sous la direction de la Société

des *Améliorations intérieures de l'état de New-Yorck*, une collection de documens officiels relatifs aux canaux destinés à joindre les lacs du nord et de l'ouest de cet état avec l'Océan Atlantique. (*Public documents relating to the New-Yorck canals which are to connect the western and northern lakes with the Atlantic Ocean*, etc. New-Yorck, 1821.) Ces documens, qui ont été imprimés pendant l'exécution des travaux, ont été, depuis leur achèvement, réunis avec un grand nombre d'autres pièces pour composer l'Histoire officielle des deux canaux du lac Érié et du lac Champlain. (*Laws of the state of New-Yorck relating to the Erie and Champlain canals together with the annuals reports of the canal commissionners and other documents requisite for a complete official history of those works*, etc. Albany, published by authority of the state, 1825.)

Le nombre des bateaux qui ont passé à Utique sur le canal du lac Érié, a été de 2393 en 1823; ce nombre s'est élevé, en 1824, à 5269; et tel a été l'accroissement rapide du commerce par cette voie, que le nombre de bateaux a été de plus de 10,000 en 1825.

Avant l'entier achèvement de ce canal, les droits de péage, acquittés par les bateaux qui ont circulé sur les différentes parties de son cours, ont été, savoir :

En 1821 de.............	20,224 dollars
En 1822 de.............	64,071
En 1823 de.............	153,399
En 1824 de.............	340,642.

Ainsi, dès cette dernière année, le produit de ces péages a déjà été presque équivalent à l'intérêt des capitaux em

ployés à l'exécution de ce grand ouvrage, cet intérêt ne montant qu'à 375,823 dollars. D'après un message adressé à la législature de New-Yorck par M. le gouverneur Clinton, ils ont dû s'élever à 600,000 dollars en 1825.

D'aussi heureux résultats fondent les commissaires qui ont surveillé cette grande entreprise, à avancer qu'avant dix ans on aura opéré le remboursement total des fonds empruntés pour son exécution. Ils estiment de plus qu'à dater de cette époque le montant du péage sera au moins d'un million de dollars, et que le gouvernement, après avoir été amplement défrayé de ses dépenses, trouvera dans cette branche de revenus une immense ressource pour accroître de plus en plus, par de semblables améliorations intérieures, la prospérité de l'état. (*To the citizens of the commonwealth of Pensylvania, the address of the subscribers a committee of the Pensylvania society for the promotion of internal improvements in the commonwealth.* Philadelphia, March. 6, 1825.)

(25) Les matières sont transportées d'un lieu à un autre dans l'intérieur des mines d'Allemagne, au moyen de petits chariots appelés *chiens*, que l'on traîne sur deux cours de madriers parallèles. M. John Curr, ingénieur civil à Sheffield, a le premier proposé, en 1776, de remplacer ces madriers par des barres de fonte. (*De la Richesse minérale*, par M. Héron de Villefosse, tom. II, pag. 243 et 279; *A practical treatise of rail-roads*, etc., by Nicholas Wood, pag. 45.) *Transactions of the highland society of Scotland*, tom. VI, pag. 7.

(26) Richesse minérale, tom. II, pag 534 et suiv.

(27) *Essays on rail-roads in the transactions of the*

highland Society of scotland, tom. VI, pag. 68 et 69; *A practical treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 41.

(28) *A practical treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 44. *Transactions of the highland society*, etc., pag. 7.

(29) *Ib.*, pag. 46. On substitua, vers l'année 1797, des blocs de pierres aux pièces de bois sur lesquelles les *barres ornières* avaient été posées jusqu'à cette époque.

(30) *Ib.*, pag. 48.

(31) *Ib.*, pag. 48.

(32) *Ib.*, pag. 61.

(33) *Ib.*, pag. 79.

(34) Voyez l'ouvrage de Robert Fulton, intitulé: *A treatise on the improvement of canal navigation exhibiting the numerous advantages to be derived from small canals.* Londres, 1796. Cet ouvrage a été traduit en l'an VII par M. de Rezicourt, officier supérieur du génie militaire. *Voyez* aussi les ouvrages suivans: *Description d'un plan incliné souterrain, exécuté dans les mines de charbon de terre de Walkden-Moor.* Paris, 1812. *Observations on the various systems of canal navigation*, etc, by William Chapman. London, 1797. *M. Scott's account of inclined planes in the transactions of the highland society*, etc.; pag. 15 et suiv.

(35) *Observations on varions systems of canal navigation*, etc., by William Chapman, pag. 69.

(36) *A practical treatise on rail-roads*, pag. 93.

(37) *A practical treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 110.

(38) La patente qui fut accordée à MM. R. Trevitick et A. Vivian de Camborne en Cornouailles, est du 24 mars 1802. (*An historical, and descriptive account of the steam engine; by Charles-Frederick Partington, London*, 1822. *Appendix*, pag. 15.) (*A practical treatise on rail-roads*, etc., *by Nicholas Wood*, pag. 124 et seq.)

(39) *Ib.*, pag. 129. (*A practical treatise on rail-roads and carriages*, etc., *by Thomas Tredgold*, pag. 18.)

(40) Le mot composé *rail-way*, par lequel les Anglais désignent aujourd'hui les chemins à ornières, n'était pas même passé dans leur langue comme servant à une désignation spéciale en 1815, puisqu'on ne le trouve point dans l'Encyclopédie britannique qui fut publiée cette même année. Il n'a été inséré que dans le supplément de ce Dictionnaire, qui a paru en 1824, et dans les Encyclopédies de Ress et de Brewster, dont les publications datent de la même époque.

(41) M. Borgnis a rapporté en détail les expériences du comte de Rumfort, dans le premier volume de son *Traité complet de Mécanique appliquée aux arts*, pag. 118 et suiv.

(42) M. François de Gerstner, *chevalier de l'ordre impérial et royal de Saint-Léopold, professeur royal et impérial de Mathématiques transcendantes et de Mécanique à l'Institut technique des états de Bohême, directeur impérial et royal des études physiques, mathématiques et techniques à l'Université de Charles-Ferdinand, directeur impérial et royal des constructions hydrauliques, et membre de plusieurs sociétés savantes*, est auteur de plusieurs mémoires importans sur divers sujets de Mécanique et de

Mathématiques appliquées. C'est sous sa
Annales de Physique de Prague ont été

(43) *Description of rail-way on a ne*
observations on those hitherto construcee
R. Palmer, civil engineer. London, 1824

(44) *Ib.*, pag. 10.

(45) *Ib.*, pag. 16. Nous avertissons
toutes, que nous conservons, dans le com
dons des ouvrages anglais, les poids et me
savoir :

La livre *avoir du poids*, équivalent
Le quintal de 112 liv. *avoir du poid*
La tonne de 20 quintaux.......

Le pied anglais de..............
Le mille anglais de..............

La livre sterling de.............
Le denier sterling de...........

(46) *Ib.*, pag. 20.

(47) M. Palmer a dressé une table d
ont lieu sur différentes espèces de chem
des effets qui peuvent être produits par u
attribuée à un cheval ordinaire, marcha
de 2 milles et demi par heure pendant
de travail. (*Description of a rail-way on*
pag. 29.)

(48) *Ib.*, pag. 39.

(49) *Observations on a general iron-w*
don, 1823.

(50) *Remarks on the present system of road making; with observations deduced from practice and experience*, etc., etc., by John Loudon Mac Adam, esq. general surveyor of the roads in the Bristol district. London, 1823. (Advertissement, pag. 7.)

(51) *Essays on rail-roads presented to the Highland Society*, edited by Robert Stevenson, esq. civil engineer, pag. 3. (*Prize essays and transactions of the Highland Society of Scotland*, vol. VI. Edingburgh, 1824.)

(52) Les mémoires dont il est rendu compte dans le rapport de M. Robert Stevenson sont au nombre de douze: ce sont ceux de MM. *Scott*, *Georges Robertson*, *Georges Douglas*, *John Ruthven*, *James Dickson*, *James Walker* (*Lauriston*), *James Walker* (*Carron*), *James Allan*, *John Fraser*, *John Wotherspoon*, *John Moore of Bristol*, and *John Baird*.

(53) *Essays on rail-roads*, pag. 62.

(54) *Ib.*, pag. 63. D'autres expériences avaient fait connaître que sur quatre autres chemins dont l'inclinaison moyenne était de 0,415, un cheval pouvait traîner, non compris le poids des chariots, un chargement de 5 tonneaux lorsqu'il descendait, et de 2 tonneaux lorsqu'il montait.

(55) *Essays on rail-roads*, etc., pag. 72.

(56) Voyez le *quatrième mémoire sur les canaux de navigation, considérés sous le rapport de la chute et de la distribution de leurs écluses, par M. P.-S. Girard.* (Annales de Physique et de Chimie, tom. XXXII, pag. 36.)

(57) *Essays on rail-roads*, etc., pag. 143.

(58) « Je ne connais aucune méthode de paver les rues
» des villes plus digne d'être imitée que celle adoptée dans
» la ville de Milan. Deux files parallèles de grandes dalles
» de granit forment les charrières des voitures, c'est-à-
» dire tracent le chemin que les voitures doivent par-
» courir ; entre ces deux files de dalles correspond un canal
» souterrain voûté, qui reçoit les écoulemens des maisons
» par d'autres petits canaux semblables communiquant
» perpendiculairement avec lui. L'eau de la pluie s'écoule
» dans ce canal par de nombreux regards couverts de
» grosses pierres percées de trous, disposées à distances
» égales entre les deux files de dalles : ces dalles ont 1^{m} ou
» 1^{m},50 de longueur, 0^{m},5 ou 0^{m},6 de largeur, et 0^{m},3 d'é-
» paisseur. Dans les rues les plus larges et les plus fré-
» quentées, il y a deux couples de files de dalles et deux
» canaux souterrains entre ces files. De chaque côté des
» maisons, il y a deux espèces de trottoirs pavés en dalles
» ou en briques ; le surplus de la rue est pavé en cailloux
» posés avec soin, et recouvert d'une couche de ciment
» qui remplit les espaces vides et qui rend en même
» temps la surface du pavé solide et unie. » (*Traité complet de Mécanique appliquée aux arts*, par M. J.-A. Borgnis, ingénieur, tom. Ier, *Mouvement des fardeaux*, pag. 117.)

On voit encore, dans la plupart des rues de *Pompei*, décrites par M. Mazois, les traces ou charrières des voitures, qui y roulaient sur un pavé formé de grandes dalles.

Enfin, on retrouve de semblables ornières sur la route qui conduit de *Safsaf* à l'ancienne ville de Cyrène, dans la Pentapole, suivant la relation d'un voyage qui y a été fait, en 1811 et 1812, par M. Cervelli, médecin toscan.

(*Recueil de voyages et de mémoires publiés par la Société de Géographie*, tom. II, pag. 20. Paris, 1825.)

Ces vestiges, reconnus en Italie et en Afrique, prouvent que l'usage des ornières formées de blocs de pierres de taille remonte à une haute antiquité. On conçoit que l'idée doit en être venue naturellement dans un temps où les chars qui servaient aux voyageurs, et que l'on faisait souvent courir avec une grande vitesse, n'étaient point suspendus.

(59) *Remarks on the present system of road making*, etc., *minutes of evidence*, pag. 96 et suiv.

(60) *A practical Treatise on rail-roads*, etc. London, 1825.

(61) *Ib.*, pag. 93 et suiv.

(62) *Ib.*, pag. 154.

(63) La prompte destruction de la gorge qui est pratiquée au pourtour des roues de fonte, par suite du frottement qu'elle éprouve sur les ornières saillantes (*edge-rail*), avait donné lieu à une des objections les plus fortes qu'on ait opposées à l'emploi de ces roues. On a remédié à cet inconvénient par la trempe de cette gorge, opération qui consiste à développer son pourtour élevé au degré de chaleur rouge le long d'une barre de fer froid. L'expérience a prouvé que des roues ainsi trempées n'avaient éprouvé pendant huit ans aucune altération. (*Practical Treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 82.)

(64) *Ib.*, pag. 194.

(65) *Ib.*, pag. 197.

(66) *Ib.*, pag. 214.

(67) *A practical Treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 223 et suiv.

(68) *Ib.*, pag. 235.

(69) *Ib.*, pag. 237.

(70) M. Wood suppose qu'un cheval marchant sur un chemin de fer avec une vitesse de 2 milles par heure, peut faire un effort de 112 livres. Il suppose encore que cet effort est en raison inverse de la vitesse du moteur; il sera par conséquent de 224 livres, avec une vitesse sous-double d'un mille seulement par heure; et l'on aura $\frac{224}{v}$ pour l'expression de cet effort sous une vitesse quelconque v.

M. le professeur Leslie représente cet effort de traction par la formule $(12 - v)^2$, dans laquelle v indique en milles la vitesse par heure.

M. Wood a dressé une table comparative des efforts calculés d'après ces deux règles, pour des vitesses de 2 à 6 milles, pag. 239.

(71) *A practical Treatise on rail-roads*, by Nicholas Wood, pag. 252.

(72) *Ib.*, pag. 270, 271 et 272.

(73) *Ib.*, pag. 284.

(74) *Ib.*, pag. 305.

(75) *A practical Treatise on rail-roads and carriages shewing the principles of estimating their strength, proportions, expense, and annual producc*, etc., by Thomas Tredgold, civil engineer. London, 1825.

(76) *Ib.*, pag. 8.

Voici une liste des chemins de fer dont M. Tredgold a indiqué les longueurs, pag. 11 et suiv.

En Angleterre.

Désignation des chemins.	Longueurs en milles.
De Hetton........................	7^m,625
Du comté de Surrey................	18
De Dewsbury et Birstall...........	3
De Ashby de la Zouch..............	3 ,375
Des houillères de Measham.........	5
De Cloudshill.....................	6 ,500
Du canal de Derby.................	4
Des canaux de Cromfort et d'Erewash.	4
De Chapel-Milton..................	6
Du canal de Lancastre.............	3 ,250
De la Saverne.....................	5
De Cornwall.......................	5
De Skockton.......................	3 ,500
De Yarm...........................	2
De Piercebridge...................	2
De Blackboy.......................	5
De Evenwood à Norwood.............	32

Dans le pays de Galles.

De Merthyr-tidvil.................	30
De Cardiff et Merthyr.............	9
De MM. Hompray, Hill, and co......	26 ,750
De Sirhoway.......................	28
De Blaen-Avon.....................	5 ,500
	214^m,500

Désignation des chemins.	Longueurs en milles.
Report...........	214^m,500
De Caermarthen...................	15
De Oystermouth...................	7
De Ruabonbrook...................	3
De Penrhyn.......................	6 ,500
En Écosse.	
De Kilmarnock....................	10
Des houillères d'Alloa...............	2 ,500
Longueur totale...........	258^m,500

(77) *A practical Treatise on rail-roads and carriages,* p. 66 et suiv.

(78) *Ib.*, pag. 69.

(79) *Ib.*, pag. 73.

(80) *Ib.*, pag. 77 et 78.

(81) *Ib.*, pag. 85.

(82) *Ib.*, pag. . — Le chaldron de charbon de terre (mesure de Londres) est de 36 boisseaux; le boisseau est de 8 gallons, et le gallon de 4 litres (mesure de France); par conséquent le chaldron équivaut à 1^m,33 cubes.

Mais le mètre cube de charbon pèse 800 kilogrammes; par conséquent le chaldron pèse 1064 kilogrammes, ce qui revient à 2348 livres *avoir du poids.*

Or, d'après les expériences citées par M. Accum (*Description of the process of manufacturing coal gas for the lighting of streets, houses, and public buildings*, etc., p. 87), un chaldron de charbon de terre de Newcastle de

la première qualité, ou, ce qui est la même chose, 2348 liv. de ce charbon produisent 8300 pieds cubes de gaz; par conséquent, il en faudra distiller 283 liv. pour en obtenir 1000 pieds cubes.

Il faudrait ajouter à la valeur de ces 283 liv. de charbon, le prix du combustible nécessaire pour leur distillation, les dépenses de construction et d'appareils, ainsi que les frais de main-d'œuvre. Nous supposerons, pour simplifier le calcul, que toutes ces dépenses sont couvertes par la valeur du coke que l'on retire des cornues, supposition la plus avantageuse que l'on puisse faire.

Maintenant, suivant M. Tredgold, ces 1000 pieds cubes de gaz, brûlés dans la machine de Brown, produiraient en force motrice un effet équivalent à celle de deux chevaux $\frac{1}{2}$. Il serait donc nécessaire de distiller 113 livres de charbon pour se procurer *en gaz* la force d'un cheval; mais il ne faut, comme on l'a vu, que 82 liv. de ce même charbon pour développer une quantité de vapeur d'eau capable de la même force; il y a donc une économie de 31 sur 113, c'est-à-dire de plus de 27 pour 100, à faire usage des machines à vapeur ordinaires.

(83) Tredgold, *On rail-roads and carriages*, pag. 111 et suiv.

(84) *Ib.*, pag. 142.

(85) *Ib.*, pag. 143.

(86) *Ib.*, pag. 143.

(87) Suivant Smeaton (Reports, vol. I, pag. 145), un cheval traîne 22 tonneaux sur un canal avec une vitesse de 2 milles $\frac{1}{2}$ par heure. Suivant M. Bevan, un cheval traîne avec la même vitesse, sur le canal de *grande junction*, un

bateau chargé de 24 tonneaux; le poids du bateau seul étant de 9, c'est un chargement total de 33 tonneaux. Le même ingénieur évalue à 80 livres la force de traction du cheval. (Tredgold, *On rail-roads and carriages*, pag. 151.)

(88) La notice de feu M. de Gallois est imprimée dans le 3me vol. des Annales des Mines pour 1818. (Pag. 149 et suiv.) Le chemin de fer de Saint-Étienne à Andresieux a été exécuté sous la direction de M. Beaunier, ingénieur en chef des mines.

(89) *Bulletin universel des Sciences et de l'Industrie, publié sous la direction de M. le baron de Férussac*, section technologique. Juillet 1825, pag. 62.

(90) *Ib.*, pag. 63. *Compte rendu aux actionnaires du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon*, par MM. Séguin frères et E. Biot, gérans. (Paris, Firmin Didot, 1826.)

(91) *De l'établissement d'un chemin de fer entre Paris et le Havre*, lu à l'Académie des Sciences, le 1er mai 1826, par M. Navier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, membre de l'Institut. (Paris, imprimerie de Firmin Didot, 1826.)

(92) *Projet de canal et de chemins de fer pour le transport des pavés à Paris*, etc., par Ch.-Jos. Minard, ingénieur en chef du canal de Saint-Quentin. (Paris, 1826.)

(93) *Bulletin universel des Sciences et de l'Industrie*; section technologique. Mars 1826, pag. 196.

(94) *Bulletin universel des Sciences et de l'Industrie*, section technologique. Mai 1826, pag. 325.

(95) *The first annual report of the acting commitee of the society for the promotion of internal improvement in the commonwealth of Pennsylvania.* (Philadelphia. Jan. 4, 1826.)

Report of the commissioners for promoting the internal improvement of the state of Pennsylvania, n° 2. (Philadelphia. February 3, 1826.)

(96) Ces articles, intitulés *canal Policy*, sont au nombre de cinq, et portent les dates des 8 et 13 décembre 1824, des 13 janvier, 14 février et 19 mars 1825. Cette année n'était point expirée, que déjà les deux premières éditions de ces articles étaient épuisées, et qu'on en avait publié une troisième.

(97) *Report of the commissionners for promoting the internal improvement of the state of Pensylvania*, n° 2. (Harrisburg, 1826.)

(98) Ces instructions sont du 18 mars 1826. Elles sont imprimées à la suite du premier rapport annuel du comité gérant de l'Association des améliorations intérieures de l'état de Pensylvanie, pag. 30 et suiv. On y a joint quelques pièces de la correspondance de ce comité avec M. Strickland, pag. 40 et suiv.

(99) *Statistique des routes royales de France. Observations préliminaires*, pag 40.

Voyez sur le prix de réparation des routes en Angleterre, l'ouvrage de M. Mac Adam déjà cité, *Remarks on the present system of road making*, etc., pag. 41, ou la traduction de ces remarques, publiée par M. Cordier en 1823. *Voyez* aussi, sur les frais d'entretien de ces routes, les *Mémoires de M. Dutens sur les travaux publics d'Angleterre*, pag. 118 et suiv.

(100) *Voyez* le tableau du prix des transports par terre et par eau, inséré dans le troisième Mémoire sur le canal du Charolais. *OEuvres de* M. Gauthey, *publiées par* M. Na-

Total d'autre part......	15,249,399# 16s 6d
» port de Cette et du canal de » communication de l'étang de » Thau à la mer, que le roi se » chargea de perfectionner, de ci.	1,080,000
» Reste que le canal a coûté, » suivant les arrêts de liquidation » de 1667 et de 1682.........	14,169,399# 16s 6d »

Histoire du canal du Languedoc, rédigée sur les pièces authentiques conservées à la Bibliothèque royale et aux Archives du canal, par les descendans de Pierre-Paul Riquet de Bonrepos, pag. 146. (Paris, 1805.)

(107) « D'après une note communiquée par le conservateur du canal du centre, les paiemens faits jusqu'à la fin » de 1792, y compris les intérêts des sommes empruntées » par la province de Bourgogne, sont comme il suit :

» 1°. Paiemens faits par la province de Bourgogne,

	liv.	
» En 1783.............	348,142	
» En 1784.............	1,407,286	
» En 1785.............	1,621,086	
» En 1786.............	1,472,511	
» En 1787.............	1,441,582	10,383,425 liv.
» En 1788.............	1,855,546	
» En 1789.............	1,776,688	
» En 1790 jusqu'au 20 juil.	460,664	
» 2°. Paiemens faits par le commissa- » riat chargé de la liquidation des tra- » vaux exécutés jusqu'à l'époque du » 20 juillet 1790..................		113,901
		10,497,326 liv.

Report.... 10,497,326 liv.

» 3°. Paiemens faits par l'administration
» du département de Saône-et-Loire,

» En 1790.............	240,522	830,730
» En 1791.............	343,369	
» En 1792.............	246,839	
» Total....		11,328,056 l. »

OEuvres de M. Gauthey, tom. III, pag. 397.

(108) Voici la liste de ces canaux par ordre alphabétique, avec le développement et le prix de chacun d'eux:

Nous avons marqué d'une astérique les canaux de petite navigation.

Désignation.	Longueurs.	Dépenses.
	milles.	liv. sterl.
Aberdare..........	7 ½	33,500
Aberdeenshire.......	19	50,000
* Ashby de la Zouch....	50	200,000
Barnsley............	14	97,000
Basingstoke.........	43	186,000
Breeknock..........	33	150,000
Caistor.............	9	25,000
Chelmer et Blackwater.	13 ⅝	60,000
Chesterfield.........	44 ¼	100,000
Crinian	9 ½	180,000
* Croydon...........	9	80,000
Dearn et Dove.......	12 ⅝	100,000
Derby...............	17	90,000
* Dorset et Sommerset..	42	225,000
Dublin et Shannon...	61 ½	380,000
	385	1,956,500

Désignation.	Longueurs.	Dépenses.
	milles.	liv. sterl.
Report....	385	1,956,500
*Dudley.............	10 5/8	130,000
*Ellesmere...........	57	400,000
Fort William.........	59	164,031
Forth et Clyde.......	27	300,000
Foss-Rivière.........	13	55.400
Glenkenns...........	27	45,000
Glocester et Berckley.	18 1/4	200,000
Grande junction.....	90	1,125,000
Grand Surrey.......	28	87,000
Grand Western......	35	330,000
Grantham...........	30 1/4	129,000
Haslingden..........	13	87,600
Hereford............	35 1/2	30,000
*Huddersfield........	19 5/8	274,000
De la Tamise à la Severn.	30	255,000
Kennet et Avon......	60	710,000
*Kinston et Leominster.	45	370,000
Lancaster...........	80	614,100
Leeds et Liverpool....	130	540,000
Leicester...........	21 1/2	84,000
Leicester et Melton...	21	47,000
Manchester et Bolton.	15 1/8	67,000
*Manchester et Oldham.	22	170,000
Montmouthshire.....	22	319,385
*Montgommery.......	27	92,000
Oakham............	15	106,000
	1336 7/8	8,688,016

[illegible]	Longueurs.	Dépenses.
	milles.	liv. sterl.
Report.....	1336 $\frac{7}{8}$	8,688,016
[illegible]...............	15	150,000
[illegible] Trent......	10	33,000
[illegible]...............	31	391,000
[illegible]...............	17	96,000
[illegible]...............	17	70,000
[illegible].........	7	85,000
[illegible].............	15	54,000
[illegible]............	8	20,000
[illegible].............	[illegible]	225,000
[illegible]...........	[illegible]	60,000
[illegible]........	1	7,000
[illegible]...........	[illegible]	300,000
[illegible]...	[illegible]	150,000
[illegible] Birmingham.	[illegible]	137,000
[illegible].......	[illegible]	[illegible],900
[illegible]...........	6	20,000
[illegible] Birmingham.	[illegible]	[illegible]
[illegible].....	[illegible]	[illegible],000
[illegible]......	[illegible] $\frac{7}{8}$	[illegible]

[illegible] des dépenses du canal du lac [illegible] forme un Appendice à la Col[illegible] actes officiels relatifs à ce canal. [illegible] *in relation to the Erie* [illegible] Albany, [illegible], vol. II. *From* [illegible]

[illegible] par les contrôleurs des dépenses, [illegible] les parties prenantes par ordre

alphabétique, avec l'indication succincte de l'objet de dépense allouée.

En voici la récapitulation :

	dol.	cent.
Dépenses au 21 février 1821.....	2,004,523	33
au 21 mars 1822.....	1,184,468	73
au 17 mars 1823.....	1,941,962	37
au 16 février 1824.....	1,785,447	84
au 19 février 1825.....	1,356,720	18
Total général...............	8,273,122	45

(110) *A practical Treatise on rail-roads and carriages*, pag.

(111) *OEuvres de* M. Gauthey, tom. III, pag. 138 et 139.

(112) Faisons les charges annuelles des concessionnaires d'une voie de communication quelconque par kilomètre de longueur = A.

Le nombre de tonneaux de marchandises qui passent annuellement sur cette voie = M.

Faisons de plus par tonneau et par kilomètre :

1°. Le droit de péage.............. = p;
2°. Les dépenses de roulage......... = r;
3°. Le prix total du transport....... = P.

Ce dernier prix, dont la valeur de la marchandise se trouve augmentée quand elle est arrivée à sa destination, se compose nécessairement du droit de péage perçu par les concessionnaires de la voie qu'elle a suivie, et des dépenses de

roulage dont on doit compte aux entrepreneurs qui l'ont effectué; ainsi, il est évident que l'on a d'abord

$$P = p + r.$$

Il est évident, d'un autre côté, que le produit du droit de péage par le nombre de tonneaux qui passent annuellement sur la route doit être égal aux charges annuelles des concessionnaires. On a donc, en second lieu,

$$A = Mp.$$

On tire de ces deux équations

$$P - r = \frac{A}{M},$$

expression analytique de la règle que nous avons donnée.

On a, par conséquent, pour le prix total des transports,

$$P = \frac{A}{M} + r.$$

Représentons cette expression générale

par............. $P' = \frac{A'}{M'} + r'$,

par............. $P'' = \frac{A''}{M''} + r''$,

ou par.......... $P''' = \frac{A'''}{M'''} + r'''$,

suivant qu'on l'applique à une route ordinaire, à un chemin de fer ou à un canal; et substituons à chacune des quantités A, P, r et M les valeurs numériques qui leur conviennent. Or, nous avons trouvé

Sur une route ordinaire. $\begin{cases} A' = 1800^f, \\ r' = \quad 0,400; \end{cases}$

Sur un chemin de fer... $\begin{cases} A'' = 9861^f, \\ r'' = \quad 0,043; \end{cases}$

Sur un canal.......... $\begin{cases} A''' = 9652^f, \\ r''' = \quad 0,016. \end{cases}$

Supposons de plus, $M' = M'' = M''' = 100000$ tonneaux. La substitution de ces valeurs numériques, dans les expressions précédentes du prix total des transports, donnera

$$P' = \frac{1800^f}{100000} + 0^f,400 = 0^f,418;$$

$$P'' = \frac{9861}{100000} + 0,043 = 0,141;$$

$$P''' = \frac{9652}{100000} + 0,016 = 0,112.$$

Il y a donc, dans cette hypothèse de mouvement de marchandises, une économie de plus de 20 pour 100 pour les consommateurs à user d'un canal plutôt que d'un chemin de fer, et une économie de 73 pour 100 à user d'un canal plutôt que d'une route ordinaire.

En se bornant à comparer entre eux un chemin de fer et un canal, si l'on admet sur l'une et l'autre voie une circulation annuelle de 250000 tonneaux, nous aurons $M'' = M''' = 250000$; et par conséquent:

$$P'' = \frac{9861^f}{250000} + 0^f,043 = 0^f,0824,$$

$$P''' = \frac{9652}{250000} + 0,016 = 0,0546;$$

et, dans ce cas particulier, on voit que l'avantage du canal sur le chemin de fer est de plus de 33 pour 100.

l

Supposons que le prix total du transport soit le même sur un canal que sur un chemin de fer, et cherchons combien il doit passer de tonneaux de marchandises sur la première de ces voies, lorsqu'il en passe 100000 sur la seconde, pour que les charges annuelles des concessionnaires et les dépenses de roulage soient acquittées; nous aurons $P''' = P'' = 0^f,141$, et par conséquent,

$$P''' = 0^f,141 = \frac{9652}{M'''} + 0,016;$$

d'où l'on tire

$$M''' = \frac{9652}{0^f,125} = 77216 \text{ tonneaux.}$$

Ainsi, il suffira qu'il passe 77216 tonneaux sur le canal.

Si l'on suppose, au contraire, que le prix total du transport sur le chemin de fer soit réduit de $0^f,141$ à $0^f,112$ comme sur le canal, et qu'il s'agisse de déterminer M'', on aura

$$0^f,112 = \frac{9861^f}{M''} + 0,043;$$

d'où l'on tire

$$M'' = \frac{9861^f}{0,069} = 142930 \text{ tonneaux.}$$

Il faudra, par conséquent, qu'il passe 142930 tonneaux sur le chemin de fer, tandis qu'il n'en passera que 100000 sur le canal.

Reprenons les deux équations

$$P'' = \frac{A'' + M'' r''}{M''},$$

$$P''' = \frac{A''' + M''' r'''}{M'''},$$

et supposons comme ci-dessus,

$$M'' = M''' = 100000 \text{ tonneaux},$$
$$r'' = 0,043,$$
$$r''' = 0,016;$$

on en tirera, dans l'hypothèse de

$$P'' = P''',$$
$$9861 + 4300 = A''' + 1600;$$

laquelle donne

$$A''' = 12,561;$$

ce qui exprime que les charges annuelles du chemin de fer étant toujours de 9861 fr., celles du canal doivent s'élever à 12561 fr., pour que le prix total du transport soit le même sur l'une ou l'autre voie.

Le supposition de $P'' > P'''$, par laquelle on exprime que le prix du roulage sur le chemin de fer est plus élevé que le prix de la navigation sur le canal, donne

$$A''' < 12561^f.$$

La supposition contraire $P'' < P'''$, par laquelle on exprime que le prix du roulage est moindre que le prix de la navigation, donne

$$A''' > 12561^f;$$

donc le rapport $\frac{12561}{9861}$ est la limite au-dessous ou au-dessus de laquelle l'usage du canal est plus ou moins économique que celui de chemin de fer.

Si dans l'équation

$$P'' - r'' = \frac{A''}{M''}$$

on fait $r''=0$, ce qui convient au cas où les chariots char-

gés descendent par leur propre poids sur un plan incliné, on a

$$P'' = \frac{9861^f}{100000},$$

et en supposant $P'' = P'''$

$$9861^f = A''' + 1600;$$

d'où l'on tire

$$A''' = 8261^f.$$

C'est-à-dire que les frais de navigation sur un canal seraient les mêmes que le seul droit de péage sur un chemin de fer incliné, le long duquel des chariots descendraient en vertu de leur propre poids, si les charges annuelles des concessionnaires de ce canal étaient réduites à 8261 francs. Or ceci doit avoir lieu dans beaucoup de cas de navigation moyenne, puisque ces charges annuelles ne seraient, comme nous l'avons vu, que de 7641 francs sur le canal du lac Érié à la rivière d'Hudson, lequel, par les dimensions de ses écluses, a été rendu propre à une grande navigation.

MÉMOIRE

SUR LES GRANDES ROUTES,

LES CHEMINS DE FER,

ET

LES CANAUX DE NAVIGATION.



§ Ier.

Le *chariot* ou *voiture*, dans le sens le plus général de l'expression, est une machine dont l'invention remonte aux temps les plus reculés (*); cette machine, aujourd'hui connue de tous les peuples de la terre, est devenue indispensable pour les besoins du cultivateur et de l'habitant des villes. L'expérience a, depuis long-temps, fait connaître les défauts de sa première construction et a indiqué successivement des perfectionnemens dont on n'avait pas d'abord eu l'idée.

De même que la navigation intérieure s'est

(*) Moyse, le plus ancien des historiens, fait mention d'un équipage qui servait à transporter Pharaon et son intendant Joseph. *Genèse*, chap. 41, v. 43.

améliorée, dans les temps modernes, par l'établissement des canaux et des écluses, de même aussi, dans l'antiquité, et notamment chez les Perses et chez les Romains, les moyens de communication s'améliorèrent par l'établissement de routes pavées; les chemins en fer, que l'on doit aux Anglais, ont, de nos jours, considérablement facilité le transport des grands fardeaux.

On conduit sur ces chemins des voitures chargées de quinze ou vingt fois le poids des chevaux qui les traînent, tandis que sur les routes ordinaires, les chevaux ne mettent en mouvement que des fardeaux triples ou quadruples de leur propre poids.

D'un autre côté, le chargement des bateaux employés sur les canaux ou les rivières équivaut à 80 ou 100 fois le poids des chevaux qui leur sont attelés. La navigation, lorsqu'elle est praticable, devrait donc être préférée aux voies de transport par terre; mais quelques considérations balancent les avantages qu'elle présente. En effet, les frais de construction des canaux et des écluses s'élèvent bien plus haut que ceux de construction des routes. Dans nos climats, la navigation est souvent interrompue par la rigueur de l'hiver et la sécheresse de l'été; il suffit qu'un canal soit endommagé sur un seul de ses points, pour que la navigation y soit interrompue sur tout son

cours ; en général, cette sorte d'ouvrage est plus sujette à accidens, et par conséquent à réparations, que les routes ordinaires. Par ces motifs et d'autres analogues, il devient important de rechercher s'il n'est pas posssible d'augmenter tellement les avantages des voitures et des routes, que les transports par terre puissent être, sinon toujours préférables, du moins aussi avantageux que les transports par eau.

La solution de cette question exige qu'après avoir soumis au calcul les avantages et les inconvéniens connus de nos voitures, dans des limites de capacité fixées par l'expérience, on recherche sous quelles conditions le fardeau tiré par un cheval devient un *maximum*. Les auteurs qui ont écrit sur la Mécanique ne s'étant pas proposé cet objet, il est permis de penser qu'un Mémoire spécial qui traitera de cette matière importante, sous le rapport de la science et de l'utilité générale, sera bien accueilli du public.

§ II.

Pour rendre manifestes les principaux avantages des voitures, il suffit de rappeler l'histoire de leur invention. Lorsqu'un fardeau est posé à terre, ou sur un traîneau, il éprouve, étant mis en mouvement, toute la résistance que le pavé et les inégalités du sol lui opposent ; le frotte-

ment attaque les surfaces en contact et met bientôt le traîneau hors d'usage. L'expérience n'a pas tardé à apprendre qu'il est plus facile de faire tourner un corps d'une face sur une autre, que de le traîner toujours sur la même face. Cette plus grande facilité devient particulièrement sensible pour les corps ronds, dont la surface extérieure est partout également éloignée de leur axe ou de leur centre de gravité; de là l'usage du mouvement de rotation des corps cylindriques, pour le transport des grands fardeaux, usage qui remonte à la plus haute antiquité, et qui, après avoir reçu plusieurs modifications, s'est conservé jusqu'à présent. Un exemple remarquable en est rapporté par Vitruve (*). Pour amener à Éphèse les colonnes de marbre de 60 pieds de longueur, destinées au temple de Diane, l'architecte Ctésiphon imagina de faire sceller dans les bases de ces colonnes, et précisément à leur centre, des boulons de fer remplissant fonction d'essieux; ces essieux étaient mobiles dans des trous cylindriques pratiqués à travers les pièces transversales de châssis de bois auxquels on attela des chevaux. Sans cet expédient, le poids énorme de ces colonnes aurait

(*) *Lib. X, cap.* 6.

écrasé les routes et les voitures ; elles étaient traînées, comme on voit, de la même manière que le sont encore les rouleaux dans les jardins et dans les champs.

D'autres monumens de l'antiquité, dont la forme ne se prêtait pas à ce mouvement de rotation sur eux-mêmes, furent placés sur des châssis soutenus par des cylindres. C'est ainsi que fut transporté, de nos jours, à Saint-Pétersbourg, le prodigieux rocher que l'impératrice Catherine avait choisi pour servir de piédestal à la statue de Pierre-le-Grand. Si l'on considère combien cette opération exigea de temps pour aplanir le sol, pour l'affermir au moyen de madriers, pour reporter en avant les rouleaux restés en arrière, pour y enfoncer des pieux, afin d'y attacher les cables qui retenaient les treuils et autres appareils, etc., on comprendra facilement combien doit être lent un semblable moyen de transport.

Afin d'éviter la perte de temps qu'occasionne le déplacement continu des cylindres, on eut l'idée ingénieuse de substituer à ces cylindres des disques ou des rondelles tenues jointes ensemble, à une certaine distance, par des pièces transversales en forme d'essieu, sur lequel on fixa solidement une espèce de châssis en bois; ces rondelles et ce châssis, réunis d'une manière fixe, et ne for-

mant qu'un seul système, étaient transportés simultanément. L'expérience apprit bientôt que plus les rondelles étaient grandes et légères, et plus le mouvement était facile; de là on vint aux roues de voitures, avec des moyeux, des raies, et des jantes réunies par des cercles de fer; on forma ainsi des roues plus légères et plus durables que les anciens disques; on prétend cependant que les Turcs se sont encore servis de ces derniers au siége de Vienne, pour transporter leurs canons. Les autres parties de la voiture, telles que les brancards destinés à recevoir la charge, le timon, la cheville ouvrière, etc., appartiennent au service et à la conduite de la machine, et n'ont pas de rapport à la question de la plus grande facilité de transport dont nous nous occupons.

§ III.

Les avantages que présente l'usage des voitures sont contre-balancés par les causes de résistance suivantes,

1°. Les essieux étant fixés à la voiture, le frottement n'est pas détruit comme il l'était à l'aide des rouleaux; il n'est que transporté de la circonférence des roues à celle de l'œil des moyeux. La partie inférieure de l'essieu frotte et glisse sur la concavité de cet œil, comme autrefois le traîneau glissait sur le sol, avec cette différence néanmoins,

que les essieux pouvant être bien arrondis, ferrés et enduits de graisse, le frottement est diminué et la durée de la machine augmentée.

2°. La forme circulaire des roues, en procurant à la voiture sa grande mobilité, présente le désavantage d'en faire porter tout le poids sur de petites surfaces, qui pénètrent plus ou moins profondément dans le sol; les ornières ainsi formées augmentent avec la charge et ralentissent le mouvement.

3°. Quand les voitures roulent sur le pavé, le choc des roues contre les blocs de pierre dure dont il est formé, fait perdre aux voitures une partie de leur vitesse, laquelle doit leur être restituée par un accroissement de force de traction. Le bruit qu'occasionnent les cahots de la voiture indique assez bien l'intensité de la force qui les produit.

4°. La manière d'atteler les chevaux, ou la direction de leurs traits, peut devenir un obstacle au tirage, soit que cette direction tende à augmenter la pression de la voiture contre les pierres, sable et autres obstacles qui se présentent à son passage, soit que par le défaut de longueur des traits, le fardeau que doivent supporter les chevaux se trouve augmenté.

5°. L'effet de l'action des chevaux est limité non-seulement par leur vitesse, mais encore par

leur propre poids ; ces deux seuls obstacles deviennent souvent sensibles dans les pays montueux où les chevaux ont évidemment à vaincre la résistance provenant du poids de leur corps.

6°. La question de la meilleure inclinaison à donner aux routes est de la plus grande importance ; une route dont la pente est trop roide exige trop de chevaux ; une route trop peu inclinée exige, par les fréquens détours qu'elle fait, plus de temps pour être parcourue, ce qui augmente les frais de voyage.

7°. Enfin, les voitures devant être transportées elles-mêmes avec leur charge, plus celle-ci est considérable, plus les voitures doivent être solides, et par conséquent plus elles doivent devenir pesantes et opposer d'obstacles à leur mouvement.

§ IV.

Nous allons maintenant essayer de soumettre ces divers objets au calcul, afin de reconnaître d'abord les lois qui régissent ces causes de résistance au mouvement, et d'augmentation de dépense. Nous essayerons ensuite de puiser dans l'expérience les moyens de les éviter. Cette théorie nous apprenant à diminuer les inconvéniens et à augmenter les avantages des voitures, nous conduira à résoudre ainsi

la question d'*amener, avec une force de traction donnée, le plus grand poids possible, dans le moindre temps, d'un endroit à un autre.*

Dans les écrits publiés jusqu'ici sur cette matière (*), on s'est principalement occupé du frottement des essieux contre les moyeux; c'est aussi par là que nous allons commencer.

§ V.

Lorsque les roues sont fixées à l'essieu, le poids entier de la charge porte en A sur le sol (fig. 1ère). La force de traction doit alors surmonter tout le frottement qu'exercent sur la roue les aspérités du terrain. Or, il est évident que cette résistance est d'autant plus forte que ces aspérités sont en plus grand nombre, et que la charge est plus grande. Par cette raison, on représente ordinairement la résistance provenant du frottement, par le produit mQ, dans lequel Q est le poids soutenu et m un coefficient à déterminer par l'expérience et qui dépend de la nature des substances frottantes.

(*) Essai d'un Traité systématique sur le tirage des voitures. Gott. 1787. Essai d'une Théorie de tirage, par Kroukep. 1802.

Lorsque les roues sont mobiles autour de l'essieu, le frottement mQ s'exerce en B, au contact de l'essieu et du moyeu. Si nous représentons par a le rayon CB de l'essieu, et par A celui CA de la roue; la force qui, agissant à la circonférence de la roue, fera équilibre à la résistance du frottement, sera exprimé par $\frac{amQ}{A}$; c'est comme si, la roue étant fixée sur l'essieu, il y avait en A une résistance $\frac{maQ}{A}$; c'est cette résistance que la force de traction K' doit surmonter.

§ VI.

Lorsque la charge est distribuée également sur deux ou sur quatre roues, chaque essieu ne porte alors que la moitié $\frac{Q}{2}$, ou le quart $\frac{Q}{4}$ de la charge, et la résistance à vaincre, dans ce dernier cas, sera encore $4\frac{mQa}{4A} = \frac{maQ}{A}$, comme auparavant. De là on peut déduire que le tirage sera d'autant plus aisé, 1°. que le rapport $\frac{a}{A}$ sera petit, et conséquemment lorsqu'on emploiera de grandes roues et de petits essieux. Par cette raison, des essieux en fer sont préférables à ceux en bois, et on

en fait usage principalement pour les équipages et voitures de luxe.

2°. Que le produit mQ sera petit. Mussembroek et d'autres anciens mécaniciens ont estimé $m = \frac{1}{3}$. Coulomb, qui a fait des expériences très exactes, a trouvé que le frottement n'était proportionnel aux poids que pour de grandes masses et pour des surfaces parfaitement polies, et il évalue, principalement pour le fer, m à $\frac{1}{8}$; faisant, par exemple, $\frac{a}{A} = \frac{1}{15}$, $Q = 80$ quintaux, $m = \frac{1}{8}$; on trouve alors, pour l'expression du frottement, $\frac{1}{15} \cdot \frac{1}{8} \cdot 80 = \frac{2}{3}$ de quintal; or on sait que sur une route ordinaire il faut, pour traîner cette charge Q de 80 quintaux, quatre chevaux, dont la force de traction peut être évaluée à 4 ou 5 quintaux; d'où l'on voit que les autres causes de résistance sont bien plus considérables que le frottement des essieux sur l'œil des moyeux.

§ VII.

Dans les routes d'un profil irrégulier et mal entretenues, la voiture prenant une position inclinée vient s'appliquer avec sa charge contre le moyeu de l'une des roues. De là résulte un frottement qui peut devenir sensible, parce que le diamètre des moyeux est toujours plus grand que celui

de l'essieu. Supposons, par exemple, qu'une ornière soit élevée d'un pied au-dessus d'une autre, ce qui suffit pour exposer les voitures à verser, on peut admettre qu'alors environ le quart de la charge vient s'appuyer contre le moyeu. On peut estimer, en conséquence, le frottement qui en résulte, au quart environ de celui qui a lieu sur l'essieu. On éprouve la plus grande résistance de cette espèce dans les chemins creux, lorsque les roues, entrant profondément dans les ornières, en détachent des masses de terre, des morceaux de pierres, etc.; il est évident qu'on ne peut faire disparaître cette cause de résistance que sur des routes bien solides et bien dressées.

§ VIII.

La seconde espèce de résistance qu'éprouvent les voitures dans leur mouvement, provient du peu de consistance de la route sur laquelle elles roulent. Lorsque la roue repose sur un terrain mou IHE (fig. 2), elle s'enfonce jusqu'à ce que la résistance qu'oppose à son enfoncement la surface cylindrique HAE du terrain soit contre-balancée par la pression verticale exercée sur elle par la roue. Que l'on suppose maintenant cette roue tirée dans la direction IHE, on voit

que la partie postérieure du terrain ne revient pas à son premier état, il reste comprimé, et la roue laisse derrière elle une empreinte ou ornière; il résulte évidemment de là, que si la roue n'est plus soutenue par cette partie postérieure AE de l'ornière, elle l'est entièrement par la partie antérieure HA. La direction moyenne de cette réaction du sol ne passant plus par le centre de la roue, on conçoit que cette réaction acquiert un moment statique qui doit être surmonté par le tirage des chevaux.

La compression étant nulle en E et ayant son *maximum* en A, il est clair que la réaction du sol n'est pas la même à ces deux points, et qu'elle diminue depuis E jusqu'en A. A la vérité, la loi de cette réaction est inconnue, mais comme la réaction du terrain augmente à mesure que la roue s'enfonce, nous pouvons admettre qu'elle est proportionnelle à une puissance indéterminée m de l'enfoncement MN. C'est d'après cette hypothèse que nous allons évaluer la réaction du sol et son moment statique. Soient donc :

La largeur de l'ornière ou de la jante $= b$;

La plus grande profondeur AB ou EF de l'ornière $= h$;

La demi-corde de l'enfoncement de la roue BE $=$ AF $= f$,

$$BM = AO = x,$$
$$Mm = dx,$$
$$NO = u,$$
$$MN = h - u,$$
$$Nn = ds.$$

La charge supportée par l'unité de surface au point A étant désignée par W′, on aura

$$\frac{W'(h-u)^m}{h}$$

pour la résistance sur l'unité de surface en N; par conséquent la pression normale du sol sur l'élément cylindrique Nn de la jante sera exprimée par

$$\frac{W'(h-u)^m}{h} bds,$$

décomposée suivant la verticale NG, elle sera

$$\frac{W'(h-u)^m}{h} bdx.$$

Supposons maintenant le diamètre de la roue $= A$, on aura $x^2 = Au - u^2$, ou seulement $x^2 = Au$, en négligeant u par rapport à x.

Par la même raison on aura $f^2 = Ah$, d'où l'on tire

$$u = \frac{hx^2}{f^2}.$$

La résistance du sol, depuis A jusqu'en N, sera donc exprimée par

$$\int W'\left(1-\frac{x^2}{f^2}\right)^m bdx =$$

$$W'b\left(x-\frac{mx^3}{3f^2}+\frac{m.m-1}{2.5f^4}x^5-\text{etc.}+\text{etc.}\right).$$

Désignant donc par q la réaction du sol, et prenant l'intégrale précédente depuis $x=0$ jusqu'à $x=f$, on aura

$$q = W'bf\left(1-\frac{m}{3}+\frac{m.m-1}{2.5}-\text{etc.}+\text{etc.}\right).$$

On obtient le moment statique de la pression sur un élément Nn de la jante, en multipliant cette pression par le bras de levier $CG=x$. Le moment statique, pris depuis A jusqu'à N, étant ainsi exprimé par l'intégrale

$$\int W'\left(1-\frac{x^2}{f^2}\right)^m bxdx =$$

$$\frac{W'bff}{2.(m+1)}\left[1-\left(1-\frac{x^2}{ff}\right)^{m+1}\right],$$

on aura pour le moment cherché, entre les deux limites $x=0$ et $x=f$,

$$\frac{W'bf^2}{2(m+1)}.$$

Ce moment doit être égal à celui de la force de traction. Si donc on fait cette force $= K''$, son moment sera $\frac{K''A}{2}$, et l'on aura

$$K''A = \frac{W'bf^2}{(m+1)},$$

et par conséquent,

$$K'' = \frac{fW'bf}{A(m+1)} = \frac{fq}{A(m+1)\left(1 - \frac{m}{3} + \frac{m.m-1}{2.5} - \text{etc.}\right)}.$$

Si nous faisons $m = 0$, ce qui a lieu en supposant constante la résistance du sol à toutes profondeurs, on obtient

$$K'' = \frac{fq}{A};$$

pour $m = 1$ on trouve

$$K'' = \frac{3fq}{4A};$$

pour $m = 2$,

$$K'' = \frac{5fq}{8A}.$$

On voit que les différences entre diverses valeurs de K ne sont pas très considérables.

§ IX.

Il nous reste à déterminer la longueur de la ligne BE $= f = \frac{h^2}{A}$, ou, ce qui revient au même, à chercher la grandeur de BA $= h$; à cet effet, soit W la résistance qu'oppose le terrain, lorsque $h = 1$, on aura, d'après le principe adopté, $W' : W :: h^m : 1$, et par conséquent

$$W' = Wh^m = W\left(\frac{ff}{A}\right)^m.$$

Substituant cette valeur de W' dans celle de q trouvée ci-dessus, on a

$$q = \frac{Wbf^{2m+1}}{A^m}\left(1 - \frac{m}{3} + \frac{m.m-1}{2.5} - \text{etc.}\right),$$

d'où l'on tire

$$f = \left(\frac{A^m q}{Wb\left(1 - \frac{m}{3} + \frac{m.m-1}{2.5} - \text{etc.}\right)}\right)^{\frac{1}{2m+1}}$$

et

$$\frac{f}{A} = \left(\frac{q}{A^{m+1}bW\left(1 - \frac{m}{2} + \frac{m.m-1}{2.5} - \text{etc.}\right)}\right)^{\frac{1}{2m+1}}.$$

On a, en faisant successivement,

$$m = 0, \quad K'' = \frac{fq}{A} = \frac{qq}{AbW};$$

$$m = 1, \quad K'' = \frac{3fq}{4A} = \frac{3}{4} q \sqrt[3]{\frac{3q}{2A^2bW}};$$

$$m = 2, \quad K'' = \frac{5fq}{8A} = \frac{5}{8} q \sqrt[5]{\frac{15q}{8A^3bW}}.$$

§ X.

De ces formules il résulte,

1°. Que la résistance K″ provenant des ornières augmente dans un plus grand rapport que la charge q; il est donc plus avantageux de partager la charge sur plusieurs voitures, que d'en charger démesurément une seule.

2°. Que, sur un terrain mou, la résistance est plus considérable que sur un terrain dur, parce que f augmente lorsque W diminue.

3°. Que la résistance diminue lorsque le diamètre A de la roue augmente. Ainsi, pour vaincre la résistance des ornières, les grandes roues sont encore préférables aux petites.

4°. Enfin, que la résistance diminue par l'augmentation de la largeur b des jantes; ainsi des jantes larges sont préférables à des jantes étroites. Des rouliers français ont attesté au comte de

Rumfort, qu'avec les larges jantes maintenant en usage, ils pouvaient charger un quart de plus qu'auparavant.

§ XI.

La troisième espèce de résistance est due aux pierres qui forment la chaussée. Lorsqu'une voiture roule sur un pavé dur, elle éprouve une secousse en passant d'une pierre sur l'autre, ou dans la cavité formée par deux pierres contiguës. Soit BED (fig. 3) une de ces cavités; concevons aux points de contact B et D les tangentes à la circonférence de la roue, BE, DE, et supposons que sa vitesse soit représentée par AE=HE en grandeur et direction. Du point E comme centre, et d'un rayon AE, décrivez la demi-circonférence GAH, abaissez la perpendiculaire AF. La vitesse HE se décompose en deux autres; l'une AF, détruite par le choc, et l'autre FE, qui subsiste dans le sens ED. (Nous reviendrons sur cette dernière.) Par conséquent, la perte de vitesse est évidemment égale à AE—EF=EG—FE=GF, et cette perte doit être compensée par une augmentation de force de traction, si l'on veut que la vitesse reste la même sur la route MN. Pour éviter la complication des calculs, nous admettrons que cette force de traction K''' est une force accélératrice con-

stante. Désignant donc la charge de la voiture par Q, $2gt$ étant la vitesse que la pesanteur imprime au poids Q au bout du temps t, on aura

$$K''' = \frac{Q.FG}{2gt};$$

mais on a

$$FG : AG :: AG : 2AE;$$

d'où $$FG = \frac{\overline{AG}^2}{2AE}.$$

De plus, les triangles semblables AEG, DCB donnent

$$AG : AE :: DB : BC;$$

donc $$AG = \frac{AE.DB}{BC}.$$

De plus, $t = \frac{MN}{v}$, v désignant la vitesse avec laquelle l'espace MN est parcouru pendant le temps t; si maintenant on fait les substitutions, il vient enfin

$$K''' = \frac{Qv^2}{4g.MN}\left(\frac{DB}{BC}\right)^2.$$

§ XII.

Il résulte de cette expression :

1°. Que cette partie de la force de traction est

proportionnelle à la simple charge; il est connu, en effet, que des voitures lourdes exigent un tirage plus fort que des voitures légères.

2°. Que ce tirage est proportionnel au carré de la vitesse avec laquelle la voiture est conduite. Ainsi, sur les chemins pavés, il est plus avantageux d'aller doucement avec une forte charge, que d'aller plus vite avec une charge moindre.

3°. Que le tirage augmente en raison inverse de MN; plus l'éloignement entre les pavés est petit, et plus le tirage devient pénible.

4°. Enfin, que le tirage augmente d'autant plus que le rapport de la largeur des enfoncemens, au rayon de la roue, devient plus grand. Ainsi, quelques trous grands ou profonds sont plus nuisibles que plusieurs petits trous; alors on passe plus aisément avec de grandes roues, sur les pavés, qu'avec de petites roues.

§ XIII.

Toutes ces propositions s'appliquent non-seulement aux routes pavées, mais encore à celles sur lesquelles des pierres isolées peuvent être répandues, tandis que les proéminences et les cavités qui n'occasionnent point de secousses et qui forment une ligne doucement ondulée, ne présentent,

pour les chevaux de trait, ni avantages ni inconvéniens. Lorsque la descente AN (fig. 4) est telle, que la voiture n'ait pas besoin d'être enrayée, alors le tirage y est facilité autant qu'il est ensuite rendu plus difficile le long de la montée NO. La même chose a lieu pour des pavés plats ou arrondis. La succession de vitesses accélérées et retardées qu'ils occasionnent n'altère pas l'uniformité du mouvement, et les chevaux gagnent en descendant ce qu'ils perdent en montant.

§ XIV.

La quatrième espèce de résistance provient de la manière d'atteler; nous la traiterons en *même* temps que la question de l'inégalité des roues. Jusqu'ici nous avons toujours supposé que la charge était également distribuée sur les roues, et que ces roues étaient d'égal diamètre. La première condition est toujours soigneusement observée dans les voitures de roulage, mais la seconde ne peut l'être dans la plupart des charriots et des voitures de voyage, par la raison que les roues de devant doivent être plus petites que celles de derrière, afin que dans les tournans elles puissent passer sous le corps de la voiture. D'un autre côté, la plupart des voitures sont

attelées de manière que la direction des traits passe au-dessous du centre de gravité de la charge. Cette direction, en quelque sorte excentrique, tend à faire tourner la voiture autour de son centre de gravité, et cela arriverait si la route n'y mettait obstacle. Cette disposition produit sur les roues une inégalité de pression dont nous allons étudier les conséquences.

Soit G (fig. 5) le centre de gravité de la voiture, et AC la direction du tirage; par le point G, menons l'horizontale FH entre les verticales EF, IH qui passent par les centres des roues. Désignons par Q le poids total de la voiture, par F la portion de ce poids que supporte l'essieu E, et par H la portion que supporte l'essieu I, nous aurons

$$Q = F + H, \quad F = \frac{Q.GH}{FH}, \quad H = \frac{Q.FG}{FH}.$$

Représentons encore par la ligne $CA = K^{IV}$, la grandeur et la direction de la force de traction. Les deux composantes rectangulaires de cette force seront

$$CD = K^{IV} \sin w,$$
$$CB = K^{IV} \cos w.$$

w étant l'angle d'inclinaison du tirage; la composante verticale tend à soulever la voiture,

tandis que la composante horizontale la tire ; cette dernière force ne passant pas par le centre de gravité G, produirait la rotation de tout l'équipage autour de G, si son poids et la résistance du sol ne s'opposaient point à ce mouvement. Il est évident aussi que la force qui tend à soulever l'essieu E, et celle qui tend à comprimer l'essieu I sont exprimées par

$$K^{iv} \cos w . \frac{CG}{FH};$$

l'attelage excentrique a donc pour conséquence remarquable, qu'une partie de la charge exprimée par

$$K^{iv} \cos w . \frac{CG}{FH}$$

est enlevée du train de devant et transportée sur le train de derrière. Ainsi pour des essieux égaux, lorsque les roues de derrière sont plus grandes que celles de devant, la direction excentrique des traits allège le tirage. Le calcul montre également que lorsque la charge est élevée, les roues de derrière souffrent beaucoup et s'enfoncent davantage dans le terrain mou, parce que CG est plus grand; ce désavantage est diminué quand on emploie des voitures longues, parce qu'alors le rapport $\frac{CG}{FH}$ devient une fraction d'autant moindre.

La pression sur l'essieu antérieur a pour expression

$$(Q - K^{IV} \sin w)\frac{GH}{FH} - K^{IV} \cos w \frac{CG}{FH}.$$

La pression sur l'essieu postérieur est

$$(Q - K^{IV} \sin w)\frac{FG}{FH} + K^{IV} \cos w \frac{CG}{FH}.$$

Faisant

Le diamètre de la roue de derrière $= A$;
Celui de son essieu $= a$;
Le diamètre de la roue de devant $= A'$;
Celui de son essieu $= a'$.

Réunissant les résistances partielles qui proviennent des trois causes que nous avons déjà discutées (§ V, VIII et XI), et faisant

$$\frac{ma}{A} + \frac{3f}{4A} + \frac{v^2.\overline{DB}^2}{4g.MNA^2} = \text{tang}\,\mu,$$

$$\frac{ma'}{A'} + \frac{3f}{4A'} + \frac{v^2.\overline{DB}^2}{4g.MNA'^2} = \text{tang}\,\mu' \text{ (fig. 3)},$$

on obtient, entre la force de traction et la résistance, l'équation suivante :

$$K^{IV} \cos w =$$

$$\left[(Q - K^{IV} \sin w)\frac{GH}{FH} - K^{IV} \cos w \frac{GC}{FH}\right] \text{tang}\,\mu$$

$$+ \left[(Q - K^{IV} \sin w)\frac{FG}{FH} + K^{IV} \cos w \frac{GC}{FH}\right] \text{tang}\,\mu';$$

d'où l'on peut déduire la force de traction K'' pour chaque cas particulier.

§ XV.

Pour mieux embrasser l'ensemble des conséquences qu'on peut tirer de cette équation, il est à remarquer, 1°. que lorsque les roues de devant et de derrière, ainsi que leurs essieux, sont de même diamètre, on a $\tang \mu = \tang \mu'$, et l'équation donne

$$K'' = \frac{Q \sin \mu}{\cos (w - \mu)}.$$

2°. Que les roues d'arrière étant plus grandes et devant supporter un plus grand choc, il faut nécessairement donner plus d'épaisseur à leurs essieux; admettre, par exemple, que l'on a $\frac{A}{a} = \frac{A'}{a'}$, alors on aura $\tang \mu = \tang \mu'$, et

$$K'' = \frac{Q \sin \mu}{\cos (w - \mu)}.$$

3°. Que si l'on reculait tellement en arrière le centre de gravité, que le train d'avant n'eût rien à porter, on aurait, dans ce cas,

$$(Q - K'' \sin w)\, GH = K'' \cos w\, CG;$$

en mettant cette valeur dans l'équation générale, on tirerait encore

$$K^{\text{IV}} = \frac{Q \sin \mu'}{\cos(w - \mu')}.$$

Il est clair que tous les cas imaginables doivent tomber entre ces trois-là. Nous pouvons, sans craindre d'erreur sensible, nous servir, par la suite, de l'équation simplifiée

$$K^{\text{IV}} = \frac{Q \sin \mu}{\cos(w - \mu)}.$$

§ XVI.

La cinquième espèce de résistance que nous avons à examiner provient de l'escarpement plus ou moins rapide des côtes ou des descentes que l'on rencontre sur les routes. Supposons la voiture tirée de bas en haut, et représentons par AC la force de traction. Elle se décompose en deux autres; l'une $CB = K^{\text{V}} \cos w$ (fig. 6), sera consommée par le tirage; l'autre $CD = K^{\text{V}} \sin w$, sera employée à soulever la voiture et à diminuer la pression sur le sol; de même la charge $GN = Q$ de la voiture se décompose en deux forces, l'une $CN = Q \sin v$, opposée à ce tirage, et l'autre $GC = Q \cos v$,

dirigée contre le sol, ν étant l'angle d'inclinaison RST du terrain ; ainsi dans l'équation donnée ci-dessus, il faut ajouter la force $Q \sin \nu$ à la force de traction, et remplacer, au contraire, la charge Q par la charge $Q \cos \nu$. Alors on obtient

$$K^{v} \cos w = Q \sin \nu + \left[(Q \cos \nu - K^{v} \sin w) \frac{GH}{FA} - K^{v} \cos w \frac{GC}{FH} \right] \operatorname{tang} \mu + \left[(Q \cos \nu - K^{v} \sin w) \frac{FG}{FG} + K^{v} \cos w \frac{GC}{FH} \right] \operatorname{tang} \mu' ;$$

ainsi, dans les trois cas mentionnés au § XV, cette formule se réduit à celle-ci :

$$K^{v} \cos w = Q \sin \nu + (Q \cos \nu - K^{v} \sin w) \operatorname{tang} \mu,$$

d'où l'on tire

$$K^{v} = \frac{Q \sin (\nu + \mu)}{\cos (w - \mu)}.$$

§ XVII.

Il résulte de cette expression,

1°. Que la force K sera d'autant plus petite, relativement à la charge Q, que les angles ν et μ seront plus petits, c'est-à-dire que l'inclinaison de la montée sera plus faible et que le frottement provenant des pierres, sable, etc., sera moindre.

Ainsi, les frais de transport sont diminués, tant en pays de plaine qu'en pays de montagne, par des routes bien solides, bien unies, et par l'adoption de grandes roues.

2°. Que le tirage est encore favorisé lorsque le dénominateur $\cos(w - \mu)$ atteint son *maximum*, ou lorsque $w = \mu$. La direction des traits ne doit donc pas être parallèle à la route, mais tendre en haut, de manière que l'angle w ou ACB devienne égal à l'angle μ. On peut déterminer cet angle par l'observation, en remarquant sous quelle inclinaison de route la voiture commence à descendre d'elle-même, sans être ni tirée ni poussée; ou bien encore en mesurant sur les routes horizontales la force nécessaire pour mettre la voiture en mouvement. Le rapport entre cette force et le poids de la charge, indique la tangente de l'angle d'inclinaison des traits, c'est-à-dire à quelle hauteur il faut les attacher au poitrail du cheval. Ordinairement on compte 10 à 12 quintaux de charge par cheval; ajoutant $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$ pour le poids de la voiture, il vient 15 ou 16 quintaux, ce qui donne $\frac{1}{15}$ ou $\frac{1}{16}$ pour l'expression de la tangente de l'angle cherché. En général, le calcul montre que de petites roues et de mauvaises routes, exigent des traits plus élevés que de bonnes routes, de grandes roues,

et des essieux bien tournés et bien graissés; c'est ce que l'expérience confirme complètement. Par là se trouve aussi justifiée la pratique de certains rouliers, qui garnissent le timon d'une cheville en haut et d'un crochet vers le bas, afin d'attacher la volée à l'un dans les bons chemins, et à l'autre dans les mauvais.

3°. Faisant $w = \mu$, on obtient

$$K' = Q\sin(\nu + \mu) = (Q\sin\nu\cos\mu + \sin\mu\cos\nu);$$

or ν et μ sont ordinairement assez petits pour que l'on ait sensiblement

$$\sin\mu = \operatorname{tang}\mu + \frac{ma}{A} + \frac{3f}{4A} + \frac{\nu^2 DB^2}{4g.A^2.MN}$$

et

$$\cos\nu = \cos\mu = 1\,, \quad \sin\nu = \frac{RT}{RS} = \frac{h}{l}\,,$$

h représentant la hauteur de la côte et l sa longueur. Donc, en substituant ces valeurs, on aura

$$K' = Q\left(\frac{h}{l} + \frac{ma}{A} + \frac{3f}{4A} + \frac{\nu^2 DB^2}{4g.A^2.MN}\right),$$

expression à laquelle on parvient aussi par la simple addition des résistances partielles trouvées dans les articles précédens.

§ XVIII.

Il est généralement connu que la force des chevaux n'est pas la même partout; elle varie selon leur constitution corporelle, leur âge et l'habitude qu'ils ont du travail. Il est impossible, d'après cela, d'attribuer une valeur fixe à la force d'un cheval. C'est toutefois une propriété commune à tous les animaux, qu'ils sont capables d'efforts continus d'autant moindres, qu'ils sont obligés d'imprimer plus de vitesse à leur propre masse et aux charges qu'ils traînent; ainsi, dans l'évaluation de la force des chevaux, nous devons nécessairement prendre en considération la vitesse avec laquelle ils agissent; et pour que l'évaluation adoptée soit d'un usage général, il faut qu'elle soit le résultat moyen d'un grand nombre d'observations. Les manéges employés dans les travaux des mines, pour l'extraction des minerais, sont des machines qui fonctionnent depuis des siècles et qui sont très propres, sous ce rapport, à fournir ce résultat.

Parmi les observations de ce genre, recueillies par Pode (*Description des Machines de Schemnitz*, Prague, 1771), et par Lempe (*Magasin du Mineur*, Freyberg, 1780), j'en ai soumis depuis

long-temps un grand nombre au calcul, en ayant égard aux frottemens, à la roideur des cordes, etc., et j'ai trouvé que leurs résultats moyens s'accordaient à indiquer qu'un cheval est capable d'élever 100 livres de Vienne, avec une vitesse de 4 pieds de Vienne par seconde, tandis qu'avec une vitesse de 3 pieds seulement il peut élever 125 livres. La durée du travail est de 8 heures; les chevaux se reposent environ une ou deux minutes chaque fois, pendant que l'on remplit ou qu'on vide le tonneau de minerai; on peut compter une heure au plus de ces repos alternatifs, pendant les 8 heures de travail.

Quoique la loi d'après laquelle la force des chevaux augmente ou diminue, à raison de leurs vitesses, soit inconnue, on peut toutefois, sans erreur sensible, et lorsque ces vitesses sont comprises dans les limites qui viennent d'être indiquées, admettre que la force soit en rapport géométrique inverse des vitesses. Si nous représentons par s l'espace parcouru par la charge en une seconde, par K^{vi} la force du cheval, on aura

$$K^{vi} = 200 - 25s,$$

exprimées en livres de Vienne: en général, soit P la force correspondante à la vitesse C, et K^{vii} la

force correspondante à la vitesse v, nous admettons l'équation

$$K^{v1} = \frac{P(2C - v)}{C}.$$

Faisant $P = 100$, $C = 4$ et $v = 4$, on trouve $K^{v1} = 100$; et lorsque $v = 3$, tout restant égal d'ailleurs, on trouve $K^{v1} = 125$, ce qui s'accorde avec les résultats précédens fournis par l'expérience.

Les quantités P et C devront être chaque fois déterminées par expérience, et elles changeront suivant la constitution physique des chevaux; notre formule pourra être ainsi employée avec confiance.

§ XIX.

Appliquons cette formule à une machine d'extraction. Soit Q la charge à élever immédiatement par les chevaux; on obtiendra Q en multipliant le poids du tonneau de minerai par le rapport qui existe entre les bras de levier de la puissance et de la résistance; soit n le nombre de chevaux, on aura

$$nP\left(\frac{2C - v}{C}\right) = Q; \quad \text{d'où} \quad n = \frac{CQ}{P(2C - v)};$$

de plus, que l'on représente par H l'espace que

parcourent les chevaux pendant l'élévation verticale du tonneau ; on obtiendra H en multipliant cette hauteur verticale par le rapport déjà ci-dessus énoncé. $\frac{H}{v}$ sera donc le temps moyen employé à élever la charge ; supposons maintenant que pendant le temps donné t, un cheval coûte d'entretien une somme d'argent $= p$, alors pendant le temps du trajet $\frac{H}{v}$, il coûtera $\frac{pH}{tv}$, et les n chevaux coûteront

$$\frac{npH}{tv} = \frac{CQpH}{P(2C - v)tv},$$

et les frais sont abaissés au *minimum*, lorsque $v = C = 4$ pieds, d'après les expériences ci-dessus rapportées.

§ XX.

Désignons de même par n le nombre de chevaux de roulage employés à traîner le poids Q, comprenant la voiture et sa charge ; faisons

$$\frac{maQ}{A} + \frac{3fQ}{4A} = rQ,$$

$$\frac{\overline{DB}^2 . v^2 Q}{MN . A^2 . 4g} = SQv^2.$$

La somme de toutes les résistances sur le che-

min horizontal sera par conséquent $(r + Sv^2)Q$, nous aurons donc l'équation

$$(r + Sv^2)Q = n\frac{P(2C - v)}{C},$$

d'où

$$n = \frac{(r + Sv^2)CQ}{P(2C - v)}.$$

Or en prenant le pied pour unité de longueur, $\frac{24000}{v}$ est le temps nécessaire pour parcourir une lieue d'Allemagne de 24000 pieds; donc les frais de transport, pour une de ces lieues, sont exprimés par

$$\frac{24000}{v}\frac{p(r + Sv^2)CQ}{t.(2C - v)P};$$

regardant v comme variable, cette expression est un *minimum*, lorsqu'on a

$$2Sv^2(2C - v) = (2C - 2v)(r + Sv^2);$$

ou en réduisant

$$CSv^2 = r.(C - v)$$

Sur des chemins unis, ou lorsqu'on fait abstraction des frottemens occasionnés par le pavé, l'on a $S = 0$, et alors $C = v = 4$ pieds; mais lorsque S prend une valeur réelle quelconque, alors v est toujours moindre que C. De là la nécessité de

conduire les voitures plus lentement sur le pavé que sur les routes unies.

§ XXI.

Voici maintenant la manière de connaître la résistance qu'éprouvent les voitures sur nos routes : on sait que les voitures non enrayées commencent à descendre d'elles-mêmes lorsque la pente du chemin est de 1 pouce $\frac{1}{2}$ ou de 2 pouces par toise; dans ce cas la force motrice $\frac{hQ}{l} = \frac{2Q}{72}$ est égale à la résistance; donc

$$K^{vii} = (r + Sv^2)Q = \frac{Q}{36},$$

sur des chemins à peu près horizontaux.

Pour une montée de 4 pouces par toise, on trouve (§ XVII)

$$K^{vii} = \frac{2Q}{72} + \frac{4Q}{72} = \frac{Q}{12},$$

résultat confirmé par l'expérience; car sur nos routes on compte 4 chevaux pour 40 à 50 quintaux.

Nous avons trouvé ci-dessus (§ VI) pour le frottement des essieux, $\frac{ma}{A} = \frac{1}{120}$. Ainsi la ré-

sistance occasionnée par le pavé et les ornières sera égale à

$$\frac{Q}{36} - \frac{Q}{120} = \frac{7Q}{360};$$

d'où l'on voit que cette résistance est plus que double de celle occasionnée par le frottement des essieux.

§ XXII.

Le comte de Rumfort a déterminé en livres, au moyen d'une balance à ressort, la force de traction qu'exigeaient les voitures, sur diverses routes; et dans son Mémoire sur les avantages des roues à larges jantes, il a publié les résultats suivans :

	1ere voiture.	2e voiture.	3e voiture.
Hauteur des roues d'avant.	3p 4po 0li	3p 2po 3li	3p 3po 3li
d'arrière.	4 9 3	4 8 9	4 8 3
Largeur des jantes.......	0 1 9	0 2 3	0 4 0
Poids des roues d'avant...	124liv	174liv	240liv
d'arrière...	226	258	360
Poids des 4 roues........	350	432	600

Poids de la 3e voiture avec ses 4 roues... 1721liv.
Poids de trois personnes.............. 400

Total du poids traîné par les chevaux .. 2121.

[illegible] renferme la force de tra- [illegible]

	[illegible] pas.	Petit trot.	Grand trot.	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	120 à 150	Sur la route pavée du pont de Sèvres à Passy.
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible] à 120	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] à 88	Sur le côté de la même route où le chemin [illegible] et peu sablonneux.
[illegible] voit.	[illegible]	[illegible]	[illegible] à 100	

	Au pas.	Au trot.	
3e voiture..	92 à 100	100 à 110	Chemin un peu sablonneux.
2e voiture..	100 à 120	120 à 130	
3e voiture..	160 à 180	160 à 180	Chemin encore plus sablonneux.
2e et 1re voit.	180 à 200	180 à 200	

	Au petit pas.	
3e voiture..	200 à 240	Sur des pierres nouvellement jetées et sur lesquelles aucune voiture n'avait passé.
2e et 1re voit.	240 à 280	
3e voiture..	240 à 260	Dans le sable le plus profond du bois de Boulogne.
2e et 1re voit.	260 à 280	

Portons d'abord notre attention sur les routes pavées; en faisant :

$v = 3$ pieds par le petit pas,
$v = 4$ pieds $\frac{1}{2}$ par le grand pas,
$v = 6$ pieds par le petit trot,
$v = 8$ pieds par le grand trot.

On trouvera que la résistance exprimée en livres, sera représentée avec une exactitude suffisante, par

$28 + \frac{3v^2}{2}$, pour les roues à jantes de 4 pouces (3e voiture),
$30 + \frac{5}{3} v^2$, pour les roues à jantes de 2 pouces $\frac{1}{2}$ (2e voiture),
$37 + \frac{7}{4} v^2$, pour les roues à jantes de 1 pouce $\frac{3}{4}$ (1re voiture).

La moyenne entre les deux dernières résistances est

$$33 + 1{,}7v^2;$$

ainsi, la résistance pour les jantes de 4 pouces, est à celle pour les jantes de 2 pouces comme $28 + 1{,}5v^2 : 33 + 1{,}7v^2$, à peu près comme 15 à 17.

§ XXIII.

Nous apprenons par là, 1°. qu'en doublant la largeur des jantes, le tirage est diminué de $\frac{2}{17}$ ou d'environ $\frac{1}{8}$.

2°. Que la résistance du pavé est à peu près proportionnelle au quarré de la vitesse, ce que la théorie nous a indiqué § VIII.

3°. Que le tirage sur le pavé, sur des routes ordinaires et pour des jantes de 2 pouces, peut être exprimé par

$$\frac{(33+1,7v^2)}{2121} Q = \frac{Q}{64} + \frac{Q}{78}\left(\frac{v}{4}\right)^2.$$

Le premier terme $\frac{Q}{64}$ du second membre de cette équation est presque le double du frottement des essieux, lorsque la vitesse v est de 4 pieds par seconde, ou, ce qui revient au même, lorsqu'une lieue de 24000 pieds est parcourue en 1 heure $\frac{2}{3}$. Le second terme se réduit alors à $\frac{Q}{78}$, et dans ce cas, la somme des deux termes est à peu près égale à $\frac{Q}{35}$; ce qui ne s'éloigne pas de l'expérience rapportée § XXI.

4°. Que dans les terres, le sable et les pier-

railles, la résistance est la même lorsque les voitures vont au pas et au trot; ainsi la vitesse n'a pas d'influence sur cette résistance; cela s'accorde avec ce que nous avons trouvé ci-dessus, § XI, pour la résistance des ornières; mais cette résistance augmente à mesure que la consistance du terrain devient moindre, car alors les roues peuvent former des ornières plus profondes.

Le tableau suivant indique ces résistances, à proportion de la charge.

	Jantes de 4 pouces.	Jantes de 2 pouces $\frac{1}{4}$.
Boue et route de terre non pavée.	$\frac{80}{2121}Q = 0,038Q$	$\frac{90}{2121}Q = 0,042Q$
Terrain un peu sablonneux.	$\frac{100}{2121}Q = 0,048Q$	$\frac{120}{2121}Q = 0,056Q$
Plus sablonneux.	$\frac{120}{2121}Q = 0,057Q$	$\frac{130}{2121}Q = 0,061Q$
Très sablonneux.	$\frac{170}{2121}Q = 0,080Q$	$\frac{140}{2121}Q = 0,060Q$
Couches récentes de cailloux.	$\frac{220}{2121}Q = 0,104Q$	$\frac{240}{2121}Q = 0,112Q$
Sable profond.	$\frac{250}{2121}Q = 0,118Q$	$\frac{270}{2121}Q = 0,127Q$

Ainsi ces résistances s'étendent [illegible] qu'à 12 pour 100 du poids [illegible] sa charge.

§ XXIV.

Il est manifeste, d'après ces expériences, que le transport par terre peut être amélioré, soit par le perfectionnement de la construction mécanique de nos voitures, soit par l'emploi de roues plus hautes, de jantes plus larges, etc.; mais il demeure en même temps constant que le transport sera principalement amélioré par l'établissement de bonnes routes. C'est dans cette vue que les Anglais ont recouvert les ornières des routes avec des barres de fer; la fonte qui sert à couler ces barres peut être rendue, dans les hauts fourneaux, aussi dure que la pierre, et capable par conséquent de résister aux cahots des voitures chargées.

§ XXV.

Les avantages des chemins de fer, comparés aux routes ordinaires, ne peuvent être déduits que d'expériences exactes. Comme nous sommes encore privés de renseignemens publiés sur cet objet, j'ai tâché de déterminer la force de traction sur des chemins en fer, à l'aide d'essais qui, à la vérité, ont été faits en petit, mais avec d'autant plus de précision. Je fis construire

une voiture en bois, munie de quatre roues en cuivre et montée sur un châssis de 12 toises de longueur, revêtu de barres de fer; le tout sur l'échelle de $\frac{1}{12}$; pour s'opposer aux déviations des roues, les jantes, aplatties sur une largeur de 1 ligne $\frac{1}{2}$, portaient des rebords en saillie, et évasés afin de diminuer le contact des roues avec les faces latérales des barres. Quoique par cette disposition les barres ne touchassent aux jantes que par les angles des rebords, on s'aperçut néanmoins qu'on rendait le tirage encore plus facile, en creusant une légère gorge dans les jantes, laissant les roues s'arranger d'elles-mêmes sur les barres.

§ XXVI.

La force de traction ayant à surmonter le frottement des roues sur les barres, et le frottement des moyeux sur les essieux, il faut d'abord connaître celui-ci, pour le retrancher de la résistance totale; le reste représentera la résistance du chemin; à cet effet, on renversa la voiture de manière à mettre ses quatre roues dans une position verticale; on appliqua ensuite sur chaque roue un cordon de soie portant à ses deux extrémités des poids égaux; puis ajoutant des poids d'un côté et de l'autre, on chercha quel excès de charge il

fallait appliquer d'un côté pour entretenir dans la roue un mouvement uniforme. On trouva, de cette manière, que lorsqu'un poids de 12 livres était attaché à chaque extrémité du cordon, et que la roue, par conséquent, était chargée de 24 livres, il fallait un excès de poids de 9 *loths* (*) pour produire un mouvement uniforme; 9 *loths* $\frac{1}{2}$ accéléraient visiblement le mouvement, et 8 *loths* $\frac{1}{2}$ le retardaient. Lorsque chaque extrémité portait 9 livres, et que la charge totale était de 18 livres, le mouvement uniforme exigeait 6 *loths* $\frac{3}{4}$ de surpoids; à des charges de 14 livres et de 1 livre correspondaient respectivement des surpoids de 5 *loths* $\frac{1}{4}$ et de $\frac{1}{2}$ *loth*, pour faire naître le mouvement uniforme.

Ces expériences furent répétées sur chacune des roues en particulier, et l'on prit des moyennes entre les résultats inégaux des observations; il est à remarquer que les petites inégalités qui, dans la construction des roues, avaient échappé à l'œil et aux outils de l'ouvrier, étaient facilement mises en évidence par le défaut d'uniformité que l'on remarquait dans le mouvement des poids. Les

(*) Le *loth* est la 32ᵉ partie de la livre de Vienne, et pèse 4 gros 41 grains ancien poids de France, ou 17 gram. 475.

roues qui présentaient ces différences étaient de nouveau remises sur le tour, et arrondies avec plus de soin, jusqu'à ce que les résistances de toutes les roues différassent moins de $\frac{1}{8}$ de loth.

§ XXVII.

De ces expériences on déduit ainsi une formule propre à calculer le frottement. Toutes les recherches faites sur cette matière ayant appris que le frottement n'était pas rigoureusement proportionnel aux pressions, mais qu'il était plus grand lorsque les pressions sont faibles que lorsqu'elles sont fortes, on adopta, pour représenter les frottemens sur l'essieu, l'expression $c + mq$, dans laquelle c est une quantité constante, q est la charge totale de la roue, et m le coefficient de frottement. La même voiture étant destinée à faire des expériences ultérieures avec 8 roues, les 4 roues actuelles furent d'abord solidement fixées à des essieux coniques, que l'on plaça sur des supports C et Z (fig. 8e); voici les dimensions des roues et des essieux :

Diamètre de l'essieu en Z $= a = 2$ *lignes;*
Diamètre de l'essieu en C $= a' = 3$
Diamètre de la roue A $= 40$
Épaisseur du cordon $= 0,25$

Diamètre de la roue, y compris l'épaisseur du cordon, $= 40{,}25$ *lignes*;

Distance AZ de la roue à l'appui Z $= E = 41$

Distance Ac de la roue à l'appui C $= e = 5$.

q étant la charge de la roue, les principes de Statique donnent, pour la pression exercée sur C

$$\frac{q\,AZ}{CZ} = \frac{qE}{E-e} = q \cdot \frac{41}{36},$$

le frottement en C sera donc égal à $c + mq \cdot \frac{41}{36}$;
la résistance qui a lieu à la périphérie de la roue sera par conséquent égale à

$$\left(c + mq\,\frac{41}{36}\right)\frac{a'}{A} = \left(c + mq\,\frac{41}{36}\right)\frac{3}{40};$$

de même la pression en Z sera exprimée par

$$q \cdot \frac{AC}{CZ} = \frac{qe}{E-e} = \frac{5q}{36};$$

le frottement en Z sera donc égal à $c + mq \cdot \frac{5}{36}$,
et la résistance à la périphérie de la roue

$$\left(c + mq\,\frac{5}{36}\right)\frac{a}{A} = \left(c + mq\,\frac{5}{36}\right)\frac{2}{40};$$

d'où l'on tire, pour la résistance totale,

$$\frac{c}{8,1} + \frac{mq}{10,8};$$

réduisant les *livres* en *loths* et remplaçant successivement q par les valeurs 24.32 ; 18.32 ; 14.32 ; 1.32 *loths* trouvées ci-dessus, on obtient les quatre équations

$$\frac{c}{8,1} + \frac{m.24.32}{10,8} = 9 \text{ loths},$$

$$\frac{c}{8,1} + \frac{18.32.m}{10,8} = 6,75 \text{ loths},$$

$$\frac{c}{8,1} + \frac{14.32.m}{10,8} = 5,25 \text{ loths},$$

$$\frac{c}{8,1} + \frac{1.32.m}{10,8} = 0,5 \text{ loths}.$$

De ces quatre équations on tire pour valeurs moyennes $c = 1$ et $m = \frac{1}{8}$; par conséquent la résistance de chaque roue sera

$$\left(1 + \frac{q.41}{8.36}\right)\frac{3}{40} + \left(1 + \frac{5q}{8.36}\right)\frac{2}{40} = \frac{1}{8} + \frac{q.133}{8.36.40}.$$

La résistance pour les 4 roues sera donc

$$\frac{4}{8} + \frac{4.q.133}{8.36.40} = \frac{1}{2} + \frac{Q}{86,6}.$$

$Q = 4q$ étant la charge de la voiture.

§ XXVIII.

La voiture étant maintenant chargée de divers fardeaux, fut placée sur une voie en fer parfaitement horizontale, et tirée à l'aide de poids attachés à un

cordon qu'on faisait passer sur une poulie extrêmement mobile ; on s'assurait de l'horizontalité de la voie, lorsque le même poids donnait à la voiture un mouvement uniforme, soit qu'elle fût tirée dans un sens, soit dans le sens directement opposé.

Les résultats des expériences qui furent faites sont consignés dans le tableau suivant. Nous avons ajouté les valeurs du frottement sur les barres et les essieux, calculées pour les mêmes circonstances, afin de pouvoir comparer entre eux les résultats de ce calcul et ceux de l'expérience.

Charge de la voiture = Q.	Poids nécessaire pour opér. le tirage.	Résultats des calculs.			Différence entre le calcul et l'expérien.
		Frottem. sur les essieux.	Frottem. sur les barres.	Somme des deux.	
480 *loth.*	6,5	6,04	0,26	6,30	+ 0,25
1280	16,0	15,28	0,98	16,26	— 0,26
2080	26,5	24,22	1,26	26,38	+ 0,12
2880	36,5	33,75	2,87	36,62	— 0,12
3680	47,0	42,99	4,00	46,99	+ 0,01
4480	57,5	52,23	5,23	57,46	+ 0,04

§ XXIX.

Pour calculer la résistance produite par la pénétration dans la voie (§ VIII et IX), et qui est indiquée dans la 4e colonne, on retranche le frottement moyen 15,28 des trois premières expé-

riences des poids moteurs moyens 16,33; la différence 1,05 étant divisée par la charge moyenne, donne pour quotient 0,0008; les mêmes opérations étant faites sur les trois dernières expériences, on obtient pour quotient 0,0011; ces deux quotiens étant entre eux à peu près comme $\sqrt[3]{1280}$: $\sqrt[3]{3680}$. On est autorisé à faire $m=1$, dans la formule rapportée aux § IX et X; de là on tire pour la résistance de chaque roue

$$\frac{1}{8}+\frac{q}{86,6}+\frac{3q}{4}\sqrt[3]{\frac{3q}{2AAbW}};$$

et pour les 4 roues à cause de $q=\frac{Q}{4}$,

$$0,5+\frac{Q}{86,6}+\frac{3Q}{4}\sqrt[3]{\frac{3Q}{2.4.40.40.bW}}.$$

La comparaison de cette formule avec les expériences citées plus haut, donne pour valeur moyenne $\sqrt[3]{bW}=650$; par conséquent, la force de traction totale de la voiture sera égale à

$$0,5+\frac{Q}{86,6}+\frac{Q\sqrt[3]{Q}}{14024}.$$

C'est d'après cette formule que les résultats de la 4[e] colonne ont été calculés.

§ XXX.

La surface des barres étant arrondie, et celle de la circonférence des roues étant creusée en gorge, on ne peut estimer exactement la largeur b du contact entre la partie convexe de la voie et la partie concave des roues; comme dans cette matière il ne faut pas s'attendre à des déterminations rigoureuses, et que d'ailleurs W varie avec la nature des métaux, on a supposé partout et par approximation $b = 1$ ligne. Désignant donc par A le diamètre de la roue, par B la largeur du contact, l'une et l'autre dimension exprimée en pouces; le poids Q étant d'ailleurs exprimé en quintaux, il faudra, dans la formule

$$\frac{3}{4} Q \sqrt[3]{\frac{3}{8} \frac{Q}{A^2 b W}}$$

remplacer A par 12A, b par $12b$, et Q par 3200Q; parce que, dans le calcul qui a donné $\sqrt[3]{W} = 650$ (§ XXIX), les diverses quantités étaient estimées en lignes et en *loths*. Il vient alors, pour la résistance du chemin exprimée en *loths*,

$$\frac{3.3200.Q}{4.650} \times \sqrt[3]{\frac{3.3200.Q}{8.12b.144.A^2}};$$

par conséquent, pour la même résistance exprimée en quintaux,

$$\frac{3.Q}{4.650} \times \sqrt[3]{\frac{3.3200Q}{8.12b.144A^2}} = \frac{Q}{978} \sqrt[3]{\frac{Q}{A^2B}};$$

soient, par exemple, Q = 100,
A = 48 pouces,
B = 1 pouce.

On trouve, pour la résistance due à la pénétration de la voie dans la circonférence de la roue, 3,5 livres; dans les mêmes suppositions, le frottement est environ $\frac{100}{120}$ quintaux = 83,3 livres; d'où il résulte que le frottement est très grand, comparativement à la résistance due à la pénétration; ce rapport étant, dans le cas actuel, comme 1 : 24, toute la force de traction est à la charge comme 86,8 : 10000, ou comme 1 : 115; par conséquent, sur un bon chemin en fer et avec des roues de 4 pieds de hauteur, un cheval peut facilement tirer 100 quintaux.

Il résulte d'expériences de notoriété publique, qu'un cheval tire 80 quintaux sur un chemin en fer, près de Glevitz en Silésie; ajoutant à ce poids celui de la voiture, qu'on peut estimer à 20 quintaux, on voit que ces expériences s'accordent avec nos calculs.

§ XXXI.

D'après ces calculs, il est évident que la résistance des chemins est principalement due au frottement. Il est donc à désirer qu'on cherche les moyens de le diminuer encore, afin d'obtenir ainsi la diminution des frais de transport. L'agrandissement des roues est le premier moyen de diminuer le frottement, et il faut convenir qu'il donne un grand résultat de son emploi sur les chemins horizontaux; mais dans les terrains montueux, les hautes roues deviennent désavantageuses par leur poids. Nous devons donc premièrement chercher les conditions d'après lesquelles les frais de transport sont réduits au *minimum* dans les pays montueux, afin de pouvoir fixer la hauteur convenable des roues conformément à ces conditions.

§ XXXII.

Lorsque la voiture chemine en montant, outre les résistances qui ont lieu sur le terrain et sur les essieux, résistances dont nous comprenons la somme sous le même produit fQ, les chevaux ont encore à vaincre deux autres sortes de résistances. La première est le poids $\frac{hQ}{l}$, par lequel la voiture est entraînée de haut en bas; h représentant la hau-

teur, et l la longueur du plan incliné. La seconde résistance résulte du poids des chevaux, qui doivent évidemment se tirer eux-mêmes de bas en haut. Appelant o le poids d'un cheval et n leur nombre, cette seconde résistance sera égale à $\frac{nho}{l}$. Ainsi, d'après la formule du § XIX exprimant la force tirante des chevaux, on a

$$nP\left(\frac{2C-v}{C}\right)-\frac{nho}{l}=rQ+\frac{hQ}{l};$$

d'où l'on tire

$$n=\frac{C\,(lr+h)\,Q}{2PlC-Pvl-Cho}.$$

Représentant comme ci-dessus par t la durée du travail journalier, et par p la dépense moyenne journalière d'un cheval; $\frac{l}{v}$ sera le temps employé à parcourir la distance l; et $\frac{lnp}{vt}$ seront les frais de transport occasionnés sur cette même longueur l de route, par le nombre n de chevaux; substituant à n la valeur que nous venons de trouver, on aura

$$\frac{lnp}{vt}=\frac{CpQl(lr+h)}{tv\,(2PlC-vlP-Cho)}.$$

§ XXXIII.

Cette expression générale des frais de transport devient un *minimum*, lorsque le dénominateur

[illegible] un maximum relativement à la vitesse v [illegible] savoir lorsqu'on a

$$v = C\left(1 - \frac{ho}{2lP}\right).$$

[illegible] en montant, les chevaux devront alle[r] [illegible] plus lentement que l'escarpement repré[senté] par $\frac{h}{l}$ et le rapport $\frac{o}{P}$ deviennent plus considérables ; il faut observer ici que les chemins en pays de montagne peuvent être ou trop courts et trop escarpés, ou bien trop longs et d'une pente trop douce. Dans le premier cas on a besoin de trop de chevaux de renfort, et dans le second de trop de temps pour faire les détours ; or ces deux dépenses en chevaux et en temps augmentent les frais de transport.

La hauteur h de la côte à monter étant ordinairement donnée, nous n'avons qu'à nous occuper de la longueur du chemin à parcourir ; à cet effet, nous remplacerons v par sa valeur

$$C\left(1 - \frac{ho}{2lP}\right);$$

alors la force de tirage d'un cheval devient (§ XXXII),

$$1^{\circ} \ldots \; \mathrm{P} - \frac{ho}{2l},$$

$$2^{\circ} \ldots \; n = \frac{2\mathrm{Q}(lr + h)}{2\mathrm{P}l - ho},$$

et les frais de transport

$$\frac{pln}{tv} = \frac{p\mathrm{Q}(lr + h)}{\mathrm{C}t\mathrm{P}\left(1 - \frac{ho}{2l\mathrm{P}}\right)\left(1 - \frac{ho}{2l\mathrm{P}}\right)};$$

ils deviennent un *minimum* relativement à l, en posant

$$\left(1 - \frac{ho}{2l\mathrm{P}}\right) - \frac{ho}{l^2\mathrm{P}}(lr + h) = 0.$$

On tire de là

$$\frac{l}{h} = \frac{3o}{4\mathrm{P}}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{16\mathrm{P}}{9ro}}\right);$$

par conséquent le chemin doit être d'autant plus long, ou la montée par toise d'autant plus petite, que le poids o des chevaux sera plus considérable par rapport à leur force de tirage P, et que la résistance de la voiture sera moindre ; c'est-à-dire, en d'autres termes, que les voitures et les routes seront en meilleur état.

§ XXXIV.

Soient par exemple $o = 5$ quintaux, $P = 1$ quintal (§ XVIII), et la résistance $rQ = \frac{1}{36} Q$ (§ XXI); on trouvera $\frac{l}{h} = 17,7$; la pente par toise devra être h égale à $\frac{72}{17,7} = 4,07$ pouces. En Autriche, les routes nouvellement construites en pays de montagne ont en effet 4 pouces de pente par toise, ce qui s'accorde assez, comme on voit, avec notre théorie.

D'habiles ingénieurs assurent que cette inclinaison a été trouvée par expérience dans les provinces rhénanes, et que de là l'usage s'en est introduit en Autriche. Ainsi notre théorie n'en est que mieux confirmée.

§ XXXV.

De ce qui précède nous pouvons tirer les règles pratiques suivantes :

1°. La résistance r des chemins en fer étant beaucoup moins considérable que celle des routes pavées ou ferrées, il faut leur donner une montée beaucoup moindre qu'aux routes ordinaires.

Nous avons évalué ci-dessus (§ XXX) la ré-

sistance r à 86,8 livres pour une voiture portant 100 quintaux; faisant donc $r = 0{,}868$ de quintal et conservant $P = 1$ et $o = 5$, on trouve $l = 28h$; par conséquent la montée la plus avantageuse serait de 2,5 pouces par toise. Nous verrons par la suite qu'en beaucoup de cas, r peut devenir $< \frac{1}{100}$; alors la pente la plus avantageuse serait au-dessous de 4 pouces par 3 toises; ou bien les routes devront être rendues trois fois plus longues qu'à l'ordinaire.

2°. Lorsque les routes sont longues et qu'elles traversent alternativement des côtes et des plaines, les voituriers ont l'habitude d'adapter les charges aux montées, de manière à pouvoir se dispenser de prendre des chevaux de renfort, et à laisser les chevaux pour ainsi dire se promener dans les parties unies de la route. Dans cette supposition on peut estimer la force moyenne d'un cheval à deux quintaux, et regarder le mouvement comme à peu près uniforme. Soient alors L la longueur horizontale de la route, l la longueur de la route inclinée, et h sa hauteur. En admettant que $\frac{h}{l}$ soit une très petite fraction, le nombre des chevaux sera à peu près exprimé par

$$\left(r + \frac{h}{l}\right) Q;$$

C étant la vitesse, l étant encore la longueur du chemin descendant, $\frac{L + 2l}{C}$ sera le temps employé à parcourir toute la route; et

$$\frac{p}{t}\left(r + \frac{h}{l}\right)Q\left(\frac{L + 2l}{C}\right)$$

exprimera les frais de transport qui deviennent un *minimum* relativement à l, lorsqu'on a

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{L}{2hr}}.$$

Soient, par exemple, $L = 3$ milles (*),
$h = 250$ pieds;

$$r = \frac{1}{36} \text{ (§ XXI)}.$$

Mettant ces valeurs dans celle de $\frac{l}{h}$, il vient

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{3.4000.6.36}{2.250.}} = 72;$$

ce qui montre que la route doit avoir une pente de 1 pouce par toise. Ainsi la pente de 4 pouces par toise trouvée ci-dessus (§ XXXIV), ne convient que quand la route montueuse est isolée; mais, lorsqu'elle est liée à des routes horizontales, le calcul précédent fait voir que la pente doit être moindre que de 4 pouces par toise.

(*) Le mille dont il est question ici est de 4000 toises ou en pieds de 4000×6.

§ XXXVI.

Nous allons nous occuper maintenant de déterminer les dimensions les plus avantageuses qu'il convient de donner aux roues des voitures sur les chemins en fer. On a déjà fait voir (§ XXXIII, XXXV) que la plus grande partie de la résistance sur ces chemins provient du frottement sur les essieux, et que (§ VI) ce frottement peut être diminué par de grandes roues et des essieux minces; mais comme les roues et les essieux ont tout le fardeau à supporter, il y a nécessairement des limites de grandeur fixées par la nature, et que nous devons avant tout chercher à connaître. Il suit des expériences de Muschenbroeck (*de l'Adhérence des corps*, *page* 354), qu'une poutre carrée de pin ou de tilleul, d'un pouce d'équarrissage, peut supporter, avant de se rompre, 10 à 15 quintaux placés à un pouce d'éloignement des supports. La cohésion du fer fut trouvée (*page* 352) quatre fois plus grande au moins que la cohésion de ces bois. De là il suit qu'une verge de fer peut supporter à longueur égale au moins quatre fois autant que ces bois, avant de se rompre. Mais comme les essieux ne doivent non-seulement ni casser ni fléchir, mais encore servir pendant nombre d'années à porter

la charge de la voiture, nous admettrons qu'un cylindre de fer de 1 pouce de diamètre ne peut porter, avant de se rompre, que 10 quintaux, à 1 pouce de son point d'appui; la force de cohésion de deux cylindres de diamètre 1 et a, à des distances 1 et e du point d'appui, sont entre elles comme $1 : \frac{a^3}{e}$; donc un essieu en fer, épais de a pouces, peut porter une charge $q = \frac{10a^3}{e}$, et les 4 roues la charge $Q = 4q = \frac{40a^3}{e} = \frac{40a^2}{\lambda}$, en faisant pour simplifier le calcul $e = \lambda a$; d'où l'on tire $a = \sqrt{\frac{\lambda Q}{40}}$, où a est exprimé en pouces et Q en quintaux.

§ XXXVII.

Le fer est, comme on sait, 9 à 10 fois plus pesant que le bois de sapin qui sert à la construction des voitures; mais la cohésion du fer n'égalant que quatre fois celle du bois, il est clair que toutes les fois qu'outre la cohésion, il faut prendre la légéreté des corps en considération, le bois est préférable au fer; sous ce rapport, le bois est donc admis de préférence dans la construction des roues; d'un autre côté, les jantes devant être coupées suivant

le fil de l'arbre, et creusées et délardées pour recevoir les rais, on est obligé de leur donner bien plus d'épaisseur et de force que n'en exigerait la cohésion naturelle du bois; en outre, pour maintenir la liaison entre les diverses parties de la roue et empêcher leur prompte destruction, il convient de les assembler au moyen de liens et de bandes de fer; nos roues en bois deviennent ordinairement par-là plus lourdes que les roues en fer, qui seraient capables de la même résistance. Il faut ajouter que sur les chemins de fer, les roues n'ont pas à supporter les secousses que les roues en bois peuvent recevoir sur les pavés; enfin que les roues coulées en fonte ont sur les roues en bois l'avantage de pouvoir être réparées plus facilement et avec plus de succès. Toutes ces considérations justifient suffisamment l'usage d'employer des roues en fonte sur des chemins de fer.

Sur un chemin de cette nature, la largeur des surfaces en contact, c'est-à-dire l'épaisseur des jantes des grandes et des petites roues restant la même, le poids de ces roues sera toujours proportionnel aux carrés de leurs diamètres; ainsi g étant le poids d'une roue de 1 pouce de diamètre, gx^2 exprimera le poids d'une roue dont le diamètre sera de x pouces.

§ XXXVIII.

Il a déjà été remarqué (§ XXXIII et XXXV) que les chemins en fer doivent être établis avec une très faible pente. Il s'ensuit que la vitesse v des chevaux

$$C\left(1 - \frac{ho}{2lP}\right) (\S \text{ XXXIII}),$$

différera peu de la vitesse moyenne C; de sorte que s'il faut employer des attelages plus nombreux pour franchir les *montées*, la vitesse de ces attelages restera toujours sensiblement la même; $\frac{l}{C}$ est donc le temps employé à parcourir la longueur l sur un chemin horizontal. Tout étant égal d'ailleurs, on conçoit que le nombre de chevaux nécessaires pour traîner une charge quelconque sur un chemin horizontal, est en raison directe composée de cette charge et du diamètre des essieux, et en raison inverse du diamètre des roues de la voiture que l'on emploie. Si donc on désigne par a comme ci-dessus (§ XXXVI) le diamètre des essieux, par x celui des roues, et par m un coefficient constant, on aura pour le nombre de chevaux,

$$n = \frac{maQ}{x},$$

et par conséquent sur le trajet l, les frais de transport

$$\frac{pln}{tv} = \frac{plmaQ}{Ctx}.$$

La nature des terrains permet rarement qu'une route d'une certaine longueur, qui traverse des plaines et des montagnes, puisse avoir dans tout son développement la même inclinaison. L'économie des frais de transport exige alors qu'on divise la longueur de la route en stations successives ou trajets, et qu'on donne à chaque trajet la même pente. Alors on peut tenir en relais à chaque station le nombre de chevaux nécessaires pour en fournir aux voitures autant que l'exigent la charge de ces voitures et la pente du chemin.

Dans cette hypothèse, soient h' l'excès de hauteur de la station prochaine sur la précédente, et l' leur distance, le nombre de chevaux nécessaires sera

$$\frac{maQ}{x} + (Q + 4gxx)\frac{h'}{l'};$$

et par conséquent les frais de transport seront exprimés par

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{maQl'}{x} + Qh' + 4gx^2h'\right).$$

Soient de même h'', h''', les hauteurs des stations suivantes; l'', l''', etc., les distances respectives qui les séparent, et soient de plus

$$H = h' + h'' + h''' + \text{etc.},$$
$$L = l' + l'' + l''' + \text{etc.}$$

La somme totale des frais de transport sera exprimée par

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{maQ}{x}L + QH + 4gx^2H\right);$$

et cette expression devient un *minimum* relativement à x, en posant

$$-\frac{maQL}{x^2} + 8gxH = 0;$$

d'où l'on tire

$$x = \sqrt[3]{\frac{maQL}{8gH}}.$$

Ainsi les roues devront être d'autant plus hautes que le fardeau Q sera plus considérable, et que $\frac{L}{H}$ sera plus grand.

§ XXXIX.

Sur les trajets ou paliers horizontaux où l'on ne rencontre d'autre résistance que celle qui provient du frottement, on attache ordinairement plusieurs voitures à un seul cheval; z étant le nombre de ces voitures, on aura

$$\frac{maQz}{x} = 1.$$

Combinant cette équation avec la dernière du paragraphe précédent

$$\frac{maQ}{x} = 8gx^2\frac{H}{L},$$

on en déduit

$$4gxxz = \frac{L}{2H};$$

le poids de toutes les voitures dépend donc uniquement du rapport $\frac{L}{H}$.

Il a déjà été remarqué ci-dessus (§ XXXIV) que nos routes royales (en Autriche) ont une pente de 4 pouces par toise; dans ce cas $\frac{L}{H} = \frac{72}{4} = 18$, et l'on aura pour le poids des roues $\frac{72}{8} = 9$ quintaux; ce qui s'accorde avec le poids effectif des roues de nos voitures de transport. Ainsi l'expérience a bien dirigé nos voituriers.

§ XL.

On tire de la dernière équation

$$x = \sqrt{\frac{L}{8gHz}};$$

le poids Qz, qu'un seul cheval peut mener sur un chemin horizontal, se déduit de l'équation

$$\frac{maQz}{x} = 1.$$

Mais on a

$$a = \sqrt{\frac{\lambda Q}{4o}}, \quad \text{et} \quad x = \sqrt{\frac{L}{8gHz}};$$

donc on a aussi

$$Qz = \sqrt[3]{\frac{5L}{m.mgH\lambda}}.$$

§ XLI.

Si dans l'expression générale des frais de transport,

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{maQzL}{x} + QzH + 4gx^2zH\right),$$

trouvée ci-dessus (§ XXXVIII), on suppose

$$\frac{maQz}{x} = 1, \quad \text{et} \quad 4gx^2z = \frac{L}{2H};$$

elle deviendra

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{3L}{2} + \frac{QrH}{2}\right),$$

et l'on aura, pour les frais de transport d'un seul quintal,

$$\frac{\frac{p}{Ct}\left(\frac{3L}{2} + QzH\right)}{Qz} =$$

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{3L}{2Qz} + H\right) = \frac{pl}{Ct}\left(\frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{m^2\lambda gH}{5L}} + \frac{H}{L}\right);$$

formule qui donnera les frais de transport d'un quintal par mille, en faisant $L = 24{,}000$ pieds.

§ XLII.

Supposons, par exemple,

$$\frac{L}{H} = 90,$$

le poids des roues $4gx^2z = \frac{L}{2H} = 45$ quintaux;

et de plus,

$$m = \tfrac{1}{8},\ \lambda = 2,\ g = \tfrac{1}{400},$$

nous trouverons $Qz = 180$ quintaux; c'est le poids qu'un seul cheval peut mener sur une voie horizontale. Si nous partageons ce poids sur deux voitures, on aura $z = 2$ et $Q = 90$. Le poids des roues de chaque voiture se réduira à $\frac{45}{2} = 22{,}5$ quintaux; et on aura, pour le diamètre des essieux,

$$a = \sqrt{\frac{\lambda Q}{40}} = \sqrt{\frac{90}{20}} = 2{,}12 \text{ pouces};$$

pour le diamètre des roues,

$$x = maQz = \frac{1}{8} . 2{,}12 . 180 = 48 \text{ pouces};$$

enfin pour les frais de transport par quintal,

$$\frac{pL}{Ct}\left(\frac{3}{2Qz} + \frac{H}{L}\right) = \frac{p}{t} . 117.$$

§ XLIII.

En général, il résulte de ces calculs qu'un cheval sera capable de traîner un poids d'autant plus considérable, ou, ce qui revient au même, que les frais de transport seront d'autant moindres, que les pentes du chemin seront plus faibles. Mais, dans ces mêmes circonstances, il faut que les roues deviennent plus hautes, et par conséquent plus pesantes; ce qui augmente les difficultés du tirage, surtout en pays de montagne. Dans l'exemple que nous avons choisi, le poids des roues est de 45 quintaux; si nous estimons à 20 quintaux celui des deux voitures, les roues et les voitures ensemble pèseront 65 quintaux; lesquels retranchés de 180 quintaux, poids total, laissent 115 quintaux pour la charge: ainsi les voitures et les roues entrent pour près de moitié dans la charge entière, ce qui exhausse d'autant les frais de transport. D'où résulte évidemment la nécessité d'aviser aux moyens d'augmenter la charge, sans avoir besoin d'accroître si fort le poids des roues.

§ XLIV.

Il est reconnu que les roues dites à *friction*, souvent proposées pour la conservation des routes,

n'ont jamais été adoptées, parce que, dans l'usage des roues ordinaires sur les routes ordinaires, le frottement sur les essieux est la moindre partie de la résistance. Quoique cette raison disparaisse pour les chemins de fer, toutefois il faut convenir que la multiplicité des roues complique non-seulement la construction, mais encore augmente aussi le poids de la voiture, et, par suite, les difficultés du tirage. Il importe donc d'indiquer une construction simple, et en même temps de proportionner tellement toutes les parties de la voiture, que sa charge puisse augmenter dans un plus grand rapport que son propre poids.

§ XLV.

Les essieux supportant verticalement toute la pression des fardeaux, et horizontalement la pression beaucoup moindre résultant du tirage des chevaux, il serait peut-être plus convenable à la simplicité de la construction, au meilleur soutien de la charge, ainsi qu'à la diminution du frottement, de remplacer deux roulettes qui seraient chargées chacune d'un essieu très lourd, par une seule roulette placée au-dessus de la roue de la voiture. Il faudrait empêcher les deux roues supérieures et inférieures de se séparer l'une de l'autre en les réunissant par une fourchette (*fig.* 7 *et* 14).

§ XLVI.

Soient donc :

Le diamètre de la roue inférieure $= x$,

Celui de la roue supérieure $= y$,

Le diamètre de l'essieu supérieur $= a$,

Celui du moyeu de la roue inférieure sur lequel la roue supérieure doit tourner $= \mu a$,

Le frottement sur l'essieu supérieur sera

$$\frac{m\mu aaQ}{xy}.$$

On aura de plus :

Le poids des 4 roues inférieures $= 4gxx$,

Celui des 4 roues supérieures $= 4gyy$,

La longueur du chemin à parcourir $= L$,

La hauteur des montagnes $= H$,

Le temps employé à parcourir $L = \frac{L}{C}$;

On trouvera le nombre de chevaux $n =$

$$\frac{m\mu aaQ}{xy} + (4gxx + 4gyy)\,\frac{H}{L};$$

et les frais de transport seront exprimés par

$$\frac{p}{Ct}\left(\frac{m\mu aaQL}{xy} + 4gx^2H + 4gy^2H + QH\right).$$

§ XLVII.

x et y étant des quantités indépendantes l'une de l'autre, si l'on veut que n devienne un *minimum*, il faut égaler à zéro les deux différentielles de

$$\frac{m\mu a^2 Q}{xy} + 4g.(x^2 + y^2)\frac{H}{L},$$

prises par rapport à x et par rapport à y, l'on en tire $x = y$; par conséquent, les roues supérieures et les roues inférieures doivent avoir le même diamètre.

§ XLVIII.

Si l'on fait $x = y$ dans l'une quelconque des deux équations qui donnent le *minimum* de n, il vient

$$\frac{m\mu aaQ}{xx} = 8gx^2\frac{H}{L};$$

par conséquent le poids des roues occasionne dans le tirage sur les montagnes la même difficulté que la charge sur les routes horizontales (§ XXXIX); cette dernière équation, combinée avec celle-ci

$$\frac{m\mu a^2 Qz}{x^2} = 1,$$

où z désigne le nombre des voitures, donne

$$8gx^2 z = \frac{L}{H}.$$

Ce poids dépend donc de la pente $\frac{L}{H}$, et est double de celui trouvé pour des roues simples.

On tire de la dernière équation,

$$x = y = \sqrt{\frac{L}{8gHz}};$$

ainsi les roues supérieures et inférieures doivent avoir même diamètre et même poids que les roues simples (§ XXXIX), dont il a été question ci-dessus.

§ XLIX.

Faisant dans l'équation

$$\frac{m\mu aaQz}{xx} = 1,$$

$$x^2 = \frac{L}{8gHz}, \text{ et } aa = \frac{\lambda Q}{40},$$

il vient

$$Qz = \sqrt{\frac{5L}{gm\lambda\mu H}}.$$

Comparant cette valeur avec l'expression

$$\sqrt[3]{\frac{5L}{gmm.\lambda H}},$$

qui a été trouvée pour valeur de Qz (§ XL), on en conclut que la duplication des roues n'occa-

sionne une augmentation de frais de transport que lorsqu'on a

$$5mL > g\lambda\mu^3 H.$$

§ L.

Ayant égard aux équations précédentes (§ XLVII, XLVIII, XLIX), l'expression générale des frais de transport se réduit à

$$\frac{p}{Ct}(2L + QzH)$$

et à

$$\frac{P}{Ct}\left(\frac{2L}{Qz} + H\right) = \frac{pL}{Ct}\left(2\sqrt{\frac{gm\lambda\mu H}{5L}} + \frac{H}{L}\right),$$

par quintal et par mille.

§ LI.

Faisons toujours, comme dans le § XLII,

$$\frac{L}{H} = 90,$$
$$\lambda = 2,$$
$$m = \frac{1}{8},$$
$$g = \frac{1}{400},$$

faisons de plus.... $\mu = 2$,

on obtiendra.... $Qz = 600$ quintaux ;

poids qu'un cheval peut traîner sur une route

horizontale, et qui excède le triple de celui que le même cheval pouvait traîner avec une voiture à roues simples, puisque nous avons trouvé celui-ci de 180 quintaux. Or, dans le système de construction des roues doubles, le poids de ces roues

$$4g \cdot z\,(x^2 + y^2) = \frac{L}{H} = 90 \text{ quintaux},$$

n'est que le double du poids des roues simples.

Si maintenant nous faisons le nombre de voitures $z = 5$, nous aurons :

$$a = \sqrt{\frac{\lambda Q}{40}} = \sqrt{\frac{120}{20}} = 2{,}45 \text{ pouces};$$

les frais de transport par quintal et par mille seront

$$\frac{pL}{ct}\left(\frac{2}{Qz} + \frac{H}{L}\right) = \frac{p}{t}\,87,$$

et par conséquent moindres que ceux que nous avons trouvés ci-dessus (§ XLII).

§ LII.

Nous avons adopté pour $\frac{L}{H}$ une valeur arbitraire, que nous avons estimée en nombre rond à 90 ; mais lorsqu'il s'agit de comparer dans un cas donné les frais de transport sur un canal, aux frais de trans-

port sur un chemin de fer, les valeurs des quantités L et H sont déterminées; et ces valeurs sont telles dans les canaux fréquentés aujourd'hui, que l'avantage économique est en faveur de la voie de terre.

Ainsi, par exemple, en France, au canal du Midi, on a :

La longueur L de ce canal	=	125,681 toises,
La hauteur H du point de partage..................	=	100 toises.

Conservant les valeurs $\lambda = 2$, $\mu = 2$, $g = \frac{1}{400}$, $m = \frac{1}{8}$, comme ci-dessus, il vient $Qz = 2242$ quintaux; et cette charge, tirée par un seul cheval, est plus forte que celle de 800 à 900 quintaux (ou bien de 1000 à 1200 quintaux, y compris le poids des bateaux), qu'on peut mener sur ce canal à l'aide de deux chevaux.

Sur le canal de Holstein, que nous prendrons pour second exemple, on a :

$$L = 170,400 \text{ pieds},$$
$$H = 48 \text{ pieds},$$

d'où $Qz = 3768$ quintaux; charge d'un cheval aussi considérable que celle qu'on peut traîner sur

[illegible] de 10 pieds et profond de 5 pieds, [illegible] chevaux.

[illegible] en estimant le développement de tous les canaux d'Angleterre à 2000 milles, ou à [illegible] pieds anglais; en comptant sur cette longueur développée 4000 écluses de 7 à 8 pieds de chute; faisant donc H = [illegible] pieds, on aura [illegible] chevaux; en retranchant de cette quantité [illegible] chevaux pour tirer toutes les voitures sans poids, il reste [illegible] chevaux, encore [illegible] fois le poids de [illegible] chevaux, tiré ordinairement par un seul cheval sur les canaux d'Angleterre.

LII.

Pour obtenir l'exactitude rigoureuse que la matière exige par son importance, il est encore nécessaire d'observer qu'on ne doit pas négliger, ainsi qu'on l'a fait jusqu'ici, la résistance qui a lieu sur les barres qui composent les chemins de fer; et que l'intensité de la force de traction par un seul cheval et la hauteur des roues, ne doivent pas être calculées uniquement d'après le frottement qui a lieu sur les essieux; en outre, il existe un autre frottement sur les essieux, sous le milieu de la voiture; enfin l'impression des roues supérieures sur les moyeux inférieurs est encore un

obstacle à surmonter. Nous allons faire entrer en ligne de compte tous ces obstacles, comparer nos calculs avec l'expérience; et, de cette manière, fixer avec le plus de précision possible les limites de la diminution des frais de transport par terre, de telle sorte qu'ils puissent soutenir le parallèle avec ceux de transport par eau.

§ LIV.

L'intensité et la loi du frottement étant supposées connues, il ne reste qu'à discuter le genre de résistance qui provient de l'impression réciproque des deux roues.

Lorsqu'une roue tourne sur une autre, chacune éprouve une certaine compression (*fig.* 7); soit DBE, la surface commune de contact, qui se forme lorsque la surface de la roue supérieure est comprimée de DCE en DBE. Admettons comme ci-dessus que les résistances en chaque point O sont proportionnelles aux dépressions MO et NO. Soient ensuite :

La force nécessaire pour faire dans la roue inférieure une impression égale en volume à l'unité cubique $= w$;

La force nécessaire pour produire le même effet dans la roue supérieure $= {}'\omega$;

[illegible] de deux

[illegible] MO.(c

[illegible] NO.Oc

[illegible] on en tir

[illegible]

[illegible] les quatre [illegible]

[illegible] très petits, on a [illegible]

$$Aa : Ab :: u^2 : f^2,$$
$$Cc : Cb :: u^2 : f^2;$$

[illegible]

$$Aa - Cc : Ab - Cb :: u^2 : f^2 :: Aa + Cc : AC,$$

[illegible]

$$Aa + Cc = \frac{hu^2}{f^2}:$$

de plus,

$$ac = MN = h - \frac{hu^2}{f^2},$$

et

$$MO = \frac{h\omega}{w+\omega}\left(1 - \frac{u^2}{f^2}\right);$$

par conséquent toute l'action et réaction des roues sur la surface entière BE, sera égale à

$$\int wb . MO . oO = \frac{\int \omega w b h}{w+\omega}\left(1 - \frac{u^2}{f^2}\right) du$$
$$= \frac{w\omega bh}{w+\omega} \cdot \frac{2}{3} f = \frac{Q}{4} \ldots (1).$$

Soient $y = 2FC =$ le diamètre de la roue supérieure,

$x = 2GH =$ le diamètre de la roue inférieure ;
$\mu a = 2GA =$ le diamètre du moyeu ; il vient

$$Ab + bC = AC = h = \frac{f}{\mu a} + \frac{f^2}{y} = f^2 \frac{(\mu a + y)}{\mu a y}.$$

Mettant cette valeur de h dans l'équation (1), elle se change en celle-ci :

$$\frac{w\omega bhf}{w+\omega} = \frac{3}{8} Q = \frac{w\omega b}{w+\omega}\left(\frac{\mu a + y}{\mu a y}\right) f^3,$$

d'où l'on tire

$$f = \sqrt[3]{\frac{3}{8} \frac{Q\mu a y (w+\omega)}{(\mu a + y) bw\omega}}.$$

Le moment de la pression est exprimé par

$$\int \frac{w b \omega h}{w+\omega}\left(1 - \frac{u^2}{f^2}\right) u du = \frac{w\omega bh}{w+\omega} \frac{3}{4} f^2,$$

... ce moment se réduit

... atre roues, il sera $\frac{3}{8} f Q$; par

... la distance Gg ou Ff du cen-

... l'axe à l'essieu. On aura donc

$$\frac{Q \cdot Gg}{GH} = \frac{3Qf}{4x}.$$

... rce de rotation capable de mouvoir la

... rieure, et

$$\frac{Q \cdot Ff}{FC} \cdot \frac{GA}{GH} = \frac{3Qfaz}{4yx},$$

... ur la force de traction capable de mouvoir la

... de supérieure. Or la somme de ces deux forces =

$$\frac{3}{4} f \frac{Q}{x} \left(1 + \frac{az}{y}\right),$$

expression dans laquelle il est d'autant plus permis de négliger la fraction $\frac{az}{y}$ par rapport à l'unité, que le terme le plus grand

$$\frac{3}{4} f \frac{Q}{x} = \frac{3Q}{4x} \sqrt[3]{\frac{3}{3} \frac{Qazy\,(u + w)}{(az + y)\, bwu}},$$

est lui-même très faible en comparaison des autres causes de résistance.

§ LV.

Nous allons de nouveau comparer nos formules avec l'expérience.

La voiture décrite (§ XXV) a été construite principalement à dessein d'expérimenter les résistances provenant de 8 roues, et de les comparer à celles provenant de 4 roues seulement.

Le frottement des roues inférieures a déjà été indiqué (§ XXVII). Les expériences suivantes ont été faites pour connaître le frottement des roues supérieures. Après avoir isolé chaque roue supérieure de la roue inférieure correspondante, on a passé autour de sa circonférence un cordon de soie chargé à ses extrémités de poids égaux; on a cherché ensuite l'excédant de poids nécessaire pour entretenir le mouvement uniforme de ces poids.

Or on a trouvé que lorsque des poids de 12 livres étaient suspendus à chaque extrémité de ce cordon, et que par conséquent sa charge totale était de 24 livres, il fallait un surcroît de 8 $\frac{1}{2}$ *loths* pour entretenir le mouvement avec uniformité.

Lorsque l'on suspendait un poids de 6 livres à chaque extrémité du cordon, ce qui produisait une pression totale de 12 livres, il fallait ajouter, d'un côté, un excédant de poids de 4 *loths* $\frac{1}{4}$, pour maintenir le mouvement uniforme.

Enfin les deux extrémités du cordon soutenant chacune un poids d'une demi-livre, ce qui produisait une pression totale double, il fallait un surcroît de poids d'un quart de *loth* pour entretenir l'uniformité du mouvement.

Le diamètre moyen de l'essieu $= 3$ lignes $\frac{1}{2}$;

Le diamètre moyen de la roue $= 40$ lignes;

La double épaisseur du cordon $= \frac{1}{2}$ ligne;

Le diamètre de la roue et l'épaisseur du cordon $= 40\frac{1}{2}$ lignes.

Représentons comme ci-dessus par $c + mq$ le frottement sur l'essieu; le frottement sur la circonférence de la roue sera par conséquent

$$(c + mq)\,\frac{3,5}{40,5}.$$

Nous obtenons donc en réduisant les livres en *loths*, pour déterminer c et m, les équations suivantes :

$$(c + m.24.32)\,\frac{7}{81} = 8{,}5,$$
$$(c + m.12.32)\,\frac{7}{81} = 4{,}25,$$
$$(c + m.\;1.32)\,\frac{7}{81} = 0{,}5;$$

d'où l'on tire $c = 1$ *loth*, et $m = \frac{1}{8}$. Ainsi, la somme des frottemens sur les essieux des quatre roues supérieures est exprimée par $4 + \frac{4}{8}\,q$.

§ LVI.

La bande de fer, figurée en B sous chaque roue (*fig.* 8), doit supporter évidemment le quart de la

charge totale ou $\frac{Q}{4}$; et comme cette bande réagit avec la même force contre la roue supérieure, il s'ensuit que la pression en D sera égale à

$$\frac{Q}{4} \cdot \frac{AZ}{DZ};$$

donc la résistance provenant des frottemens sur les essieux supérieurs sera exprimée par

$$\left(4 + \frac{Q}{8} \cdot \frac{AZ}{DZ}\right)\frac{\mu aa}{xy}.$$

Nous avons la distance AZ = E de la roue inférieure au milieu de l'essieu inférieur = $51^{lig.},25$;

La distance DZ = E — e de la roue supérieure au milieu de l'essieu supérieur .... = 47,50;

Le diamètre de l'essieu de la roue supérieure = a.................. = 3,50;

Le diamètre du moyeu de la roue inférieure = μa................ = 6,83;

Le diamètre des roues = x = y = A = 40,00;

donc le frottement des roues supérieures sur leurs essieux = $0,06 + \frac{Q}{496}$;

le frottement sur les 4 essieux inférieurs (§ XXVII)

6..

$$\left(4 + \frac{Q}{8} \cdot \frac{AD}{DZ}\right)\frac{a}{x} = 0{,}20 + \frac{Q}{2027};$$

la somme de ces frottemens $= 0{,}26 + \frac{Q}{400}$.

Les résultats de cette formule sont consignés dans la 3[e] colonne du tableau suivant. Les quatre roues supérieures ayant été ensuite placées sur les moyeux des roues inférieures, et tout le poids de la voiture étant soutenu par les essieux des roues supérieures, on observa les poids nécessaires pour imprimer à la voiture un mouvement uniforme, et ils sont inscrits dans la 2[e] colonne du même tableau. La 4[e] colonne indique la résistance qui a lieu sur la voie, conformément aux §§ XXII, XXVIII et XXIX.

La 5[e] colonne est calculée d'après la formule

$$\frac{3Q}{4x}\sqrt[3]{\frac{3\mu ay\,(w+\omega)\,Q}{8\,(\mu a+y)\,(bw\omega)}},$$

dans laquelle $x = y = 40$ et

$$\sqrt[3]{\frac{bw\omega}{w+\omega}} = 615,$$

la pression de la roue supérieure sur l'inférieure étant évaluée à $\frac{Q\sqrt[3]{Q}}{25266}$.

Charge de la voiture.	Poids de traction pour mett. la voit. en mouvem.	Frottemens.	Pression de la roue infér. sur la voie de fer.	Pression de la roue supér. sur le moyeu.	Totaux.	Différence entre le calcul et l'expér.
		Résultats du calcul.				Loth.
480	2	1,46	0,26	0,15	1,87	+0,13
1280	5	3,46	0,98	0,55	4,99	+0,01
2080	8,5	5,46	1,86	1,05	8,37	+0,13
2880	12	7,46	2,87	1,62	11,95	+0,05
3680	15,5	9,46	4,	2,25	15,70	—0,20
4480	19,5	11,46	5,23	2,29	19,60	—0,10

§ LVIII.

La comparaison de ces résultats avec ceux rapportés (§§ XXII, XXVIII), montrent qu'à égalité de charge de la voiture, la force de tirage n'est qu'environ le tiers de ce qu'elle a été trouvée ci-dessus (§ XXVIII); d'où se manifeste évidemment l'avantage des doubles roues sur les roues simples. Depuis quatre ans on montre cet appareil dans la salle des machines de l'Académie technologique de la ville de Prague, et les expériences que nous venons de citer, y ont été répétées avec attention et intérêt par plusieurs personnes qui en ont reconnu l'exactitude.

Nous voulons encore comparer entre elles les valeurs consignées dans les colonnes 4 et 5 de notre tableau, valeurs relatives à la résistance qui a lieu

sur la voie de fer, et à celle qui provient de l'impression de la roue supérieure sur l'inférieure.

La première résistance a été calculée d'après la formule du § XXIX,

$$\frac{3}{4} Q \sqrt[3]{\frac{3Q}{8A^2 bw}},$$

dans laquelle on a

$$\sqrt[3]{bw} = 650.$$

La deuxième résistance a été calculée d'après la formule du § LIV

$$\frac{3Q}{4x} \sqrt[3]{\frac{3}{8} \frac{\mu a y (w + \omega) Q}{(\mu a + y) b w \omega}},$$

dans laquelle

$$\sqrt[3]{\frac{b w \omega}{w + \omega}} = 615.$$

Si l'on regarde la barre de fer qui forme la voie comme un cercle d'un rayon infini, ce qui revient à supposer $y = x$ et $\mu a = \infty$; la formule précédente s'appliquera à la résistance qui a lieu sur la voie ; alors elle se réduit à celle-ci :

$$\frac{3Q}{4x} \sqrt[3]{\frac{3x}{8} \frac{(w + \omega)}{b w \omega} Q}.$$

D'après cela on aura aussi, pour la résistance des roues de laiton sur la barre de fer,

$$\sqrt[3]{\frac{bw\omega}{w+\omega}}=650;$$

or, d'après les expériences de Muschenbroeck, la ténacité du laiton est à celle du fer à très peu près comme 3 : 2; et comme chaque impression déplace les molécules et agit par conséquent sur la cohésion des corps, nous pouvons aussi admettre que la résistance du fer w est à celle du laiton ω comme 3 : 2; ensuite que $\omega=\frac{2}{3}w$. Ainsi, dans le premier cas, celui de la pression des roues de laiton sur la barre de fer, on a

$$\sqrt[3]{\frac{bw\omega}{w+\omega}}=\sqrt[3]{\frac{2b}{5}w}=650.$$

Dans le second cas, celui de la pression du laiton sur le laiton, il faut remplacer w et ω par $\frac{2}{3}=w$; et alors

$$\sqrt[3]{\frac{bw\omega}{w+\omega}}=\sqrt[3]{\frac{bw}{3}}=615;$$

la première équation donne

$$\sqrt[3]{bw}=887;$$

la deuxième donne

$$\sqrt[3]{bw} = 885,$$

et l'on a pour valeur moyenne

$$\sqrt[3]{bw} = 886.$$

Si donc nous faisons, comme au § XXX, la largeur de contact $b = 1$ ligne, et si nous représentons par B une largeur de contact quelconque, nous aurons, pour la résistance des deux roues en fer, l'expression

$$\frac{3Q}{886.4x} \sqrt[3]{\frac{3}{8} \frac{\mu a y Q}{B(\mu a + y)}},$$

dans laquelle le poids Q de la voiture étant exprimé en *loths*, x, y, μa et B, étant mesurés en lignes, le résultat sera aussi exprimé en *loths*.

Dans les autres résistances mentionnées ci-dessus, Q était exprimé en quintaux, a, y, μa étaient exprimés en pouces; ainsi, pour établir les comparaisons il faudra dans la dernière formule remplacer Q par 3200 Q, et mettre $12x$ au lieu de x, $12y$ au lieu de y, $12\mu a$ au lieu de μa, et 12B au lieu de B; divisant ensuite ce résultat par 3200, on aura pour la résistance des roues de fer, exprimée en quintaux,

$$\frac{Q}{1332x}\sqrt[3]{\frac{\mu a y Q}{B(\mu a + y)}},$$

expression dans laquelle à la place de $\frac{1}{1332}$, on peut mettre le nombre rond $\frac{3}{4000}$; ainsi la résistance d'une roue de fer sur la barre qui sert de voie, est exprimée par

$$\frac{3}{4000}\frac{Q}{x}\sqrt[3]{\frac{Q}{B}};$$

et la résistance d'une roue de fer sur une autre roue par

$$\frac{3}{4000}\frac{Q}{x}\sqrt[3]{\frac{\mu a y Q}{(\mu a + y) B}}.$$

§ LIX.

Nous allons maintenant réunir en une somme tous les obstacles qui s'opposent au tirage d'une voiture à doubles roues sur un chemin en fer, et, d'après cette somme, déterminer les poids et les hauteurs les plus convenables à donner aux roues. Ces obstacles sont :

1°. *La résistance sur le plan incliné;* c'est la plus considérable de toutes, elle est égale à

$$(Q + 4gx^2 + 4gy^2)\frac{H}{L}.$$

2°. *Le frottement sur l'essieu supérieur ;* il a pour expression

$$\frac{m\mu a a Q}{xy} = \frac{m\mu\lambda . QQ}{40 . xy}.$$

3°. *Le frottement sur les essieux inférieurs*, exprimé par

$$\frac{m u e Q}{(E - e)\, x}.$$

4°. *La pression des roues inférieures sur la barre ou voie de fer*,

$$\frac{3Q}{4000} \sqrt[3]{\frac{Q}{Bx^2}}.$$

5°. *La pression des roues supérieures sur les inférieures*,

$$\frac{3Q}{4000x} \sqrt[3]{\frac{\mu a y Q}{(\mu a + y)\, B}},$$

d'après un calcul analogue à celui qu'on a fait au § XLVI. Il s'ensuit que tous les frais de transport sur une longueur L et sur une hauteur H, s'élèvent à

$$\frac{p}{C}\frac{L}{t}\left(\frac{QH}{L} + \frac{m\mu a^2 Q}{xy} + \frac{m u e Q}{(E - e)\, x} + \frac{3Q}{4000} \sqrt[3]{\frac{Q}{Bx^2}} + \frac{3}{4000}\frac{Q}{x} \sqrt[3]{\frac{\mu a Q y}{B(\mu a + y)}} + 4gx^2 \frac{H}{L} + 4gy^2 \frac{H}{L}\right).$$

§ LX.

Pour abréger les calculs, égalons la somme de toutes les petites résistances à NQ, en sorte qu'on ait

$$\frac{mzeQ}{(E-e)x}+\frac{3Q}{4000}\sqrt[3]{\frac{Q}{Bxx}}$$
$$+\frac{3Q}{4000x}\sqrt[3]{\frac{Q\mu ay}{B.(\mu a+y)}}=NQ.$$

L'expression des frais de transport se changera en celle-ci :

$$\frac{pL}{Ct}\left(\frac{QH}{L}+\frac{m\mu a^2Q}{xy}+4gxx\frac{H}{L}+4gyy\frac{H}{L}+NQ\right),$$

qui devient un *minimum* relativement à x supposé variable lorsqu'on a

$$\frac{m\mu a^2Q}{xy}=\frac{8gx^2H}{L}+Qx\left(\frac{dN}{dx}\right);$$

et relativement à y supposé variable lorsqu'on a

$$\frac{m\mu aaQ}{xy}=\frac{8gyyH}{L}+Qy.\left(\frac{dN}{dy}\right).$$

A ces deux équations il faut joindre celle-ci

$$\frac{m\mu a^2Qz}{xy}+NQz=1,$$

qui se rapporte au tirage d'un cheval sur un chemin horizontal, et d'où l'on tire

$$\frac{mu^2 Q\varpi}{gr} = 1 - NQ\varpi.$$

Substituant cette valeur de

$$\frac{mu^2 Q}{gr}$$

dans la première équation, il vient

$$[illegible] = \frac{1}{2k}\left\{1 - Q\varpi\left[N + x\left(\frac{dN}{dy}\right)\right]\right\},$$

où le premier membre exprime le poids des roues inférieures ; substituant cette même valeur dans la seconde équation, il vient :

$$[illegible] = \frac{1}{2k}\left\{1 - Q\varpi\left[N + y\left(\frac{dN}{dy}\right)\right]\right\},$$

où le premier membre exprime le poids des roues supérieures ; mettant enfin dans la troisième équation à la place de u^2 sa valeur $\frac{[illegible]}{[illegible]}$, il vient

$$Q\varpi = \sqrt{\left[\frac{[illegible]}{mu h}(1 - NQ\varpi)\right]},$$

où $Q\varpi$ désigne le poids des voitures avec leurs charges et sans leurs roues. On peut tirer de ces

équations, avec un degré d'approximation suffisant, les poids des roues et des charges.

§ LXI.

Les observations suivantes servent à faciliter les calculs.

1°. Si l'on néglige tout-à-fait les petites résistances en faisant $N=0$, on parvient aux mêmes équations qui ont été trouvées aux §§ XLVIII et XLIX; de là on tire des valeurs approchées pour x, y et Qz.

2°. De la valeur de N prise dans le § LX, on tire

$$x\left(\frac{dN}{dx}\right)=-\frac{mae}{(E-e)x}-\frac{2}{4000}\sqrt[3]{\frac{Q}{Bxx}}$$
$$-\frac{3}{4000x}\sqrt[3]{\frac{Q\mu ay}{B(\mu a+y)}};$$

d'où

$$Qz\left[N+x\left(\frac{dN}{dx}\right)\right]=\frac{Qz}{4000}\sqrt[3]{\frac{Q}{Bx^2}};$$

quantité très petite dans tous les cas, et qui change peu la valeur

$$x=\sqrt{\frac{L}{8gHz}}$$

trouvée au § XLIX.

3°. De la même valeur de N, on déduit

$$y\left(\frac{dN}{dy}\right)=\frac{3}{4000x}\times\frac{\mu a}{3(\mu a+y)}-\sqrt[3]{\frac{Q\mu a y}{B.(\mu a+y)}};$$

d'où

$$Qz\left[N+y\left(\frac{dN}{dy}\right)\right]=Qz\left[\frac{mee}{(E-e)x}+\frac{3}{4000}\sqrt[3]{\frac{Q}{Bxx}}\right.$$

$$\left.+\frac{3}{4000x}\left(1+\frac{\mu a}{3(\mu a+y)}+\sqrt[3]{\frac{Q\mu a y}{B(\mu a+y)}}\right)\right];$$

par là les poids et les diamètres des roues supérieures deviennent notablement moindres que ceux des roues inférieures.

4°. La valeur de la charge Qz, qui peut être tirée par un seul cheval sur une route horizontale, est indépendante du nombre des voitures z. Cela résulte d'abord de ce que le produit xyz est exprimé par $\frac{L}{8gH}$, dans lequel z n'entre pas. Et ensuite de ce que divers termes de NQz conservent la même valeur pour un nombre quelconque de voitures ; parce que les essieux α et a des roues inférieures et supérieures croissent et diminuent dans le même rapport que x et y, d'après la grandeur de la charge Q. Il est donc indifférent pour la force de tirage sur un chemin en fer, qu'un grand fardeau soit placé sur une grande voiture, ou soit distribué sur plusieurs voitures.

5°. Lorsque le rapport $\frac{L}{H}$ devient considérable, le poids des roues acquiert aussi un poids notable approchant de celui des voitures, et qui influe sur les résistances dues tant aux frottemens qu'aux pressions, ce qui complique extrêmement les calculs; car on peut concevoir le poids des roues si considérable, qu'il suffise pour épuiser la force d'un cheval, et conséquemment qu'il ne laisse plus rien pour le chargement de la voiture. De là il suit que le chargement Qz peut bien d'abord croître avec la hauteur des roues; mais ensuite il doit diminuer pour des roues plus grandes, par conséquent le chargement est susceptible d'un *maximum*.

§ LXII.

Pour avoir égard à cette circonstance, il faut, dans le calcul de la résistance produite par la pression des roues supérieures sur les inférieures, et dans celui des frottemens sur les essieux, ajouter le poids $4gy^2z$ des roues supérieures au poids Qz des voitures chargées; et de même dans le calcul de la résistance sur le chemin, il faut introduire le poids $4gx^2z + 4gy^2z$ des roues supérieures et inférieures. Alors on obtient

$$NQz = \frac{m\mu e}{E-e}\frac{(Q+4gy^2)z}{x} + \frac{3}{4000}(Q+4gx^2+4gy^2)$$

$$\times z\sqrt[3]{\frac{(Q+4gx^2+4gy^2)}{Bx^2}} + \frac{3}{4000}\left(\frac{Q+4gy^2}{x}\right)z$$

$$\times \sqrt[3]{\frac{(Q+4gy^2)}{\mu a+y}\frac{\mu ay}{B}};$$

d'où l'on tire

$$\left[N+x\left(\frac{dN}{dx}\right)\right]Qz = \left(\frac{Q+4gx^2+4gy^2+8.4gx^2}{4000}\right)z$$

$$+\sqrt[3]{\frac{Q+4gx^2+4gy^2}{Bx^2}};$$

et

$$y\left(\frac{dN}{dy}\right)Qz = \frac{2.4gy^2zm\mu e}{(E-e)x} + \frac{8.4gy^2z}{4000}$$

$$\times\sqrt[3]{\frac{Q+4gx^2+4gy^2}{Bx^2}} + \frac{1}{4000}$$

$$\times\left(8.4gy^2+\frac{(Q+4gy^2)\mu a}{\mu a+y}\right)z\sqrt[3]{\left(\frac{Q+4gy^2}{\mu a+y}\right)\left(\frac{\mu ay}{B}\right)}.$$

§ LXIII.

Pour donner quelques exemples de ces calculs compliqués, on a construit la table suivante, où l'on a supposé :

1°. Le frottement $mQ = \frac{Q}{8}$, ainsi que Cou-

lomb l'a trouvé pour le frottement du fer sur le fer.

2°. Qu'une roue en fer de 5 pieds de diamètre pèse 3 quintaux. Tel est en effet le poids des roues de notre voiture de transport, qui ont de 54 à 60 pouces de diamètre; on tire de là $4g = \frac{1}{108}$; pour la commodité des calculs, on a supposé $4g = \frac{1}{100}$.

3°. Que $\lambda = 2$; et par conséquent $a = \frac{\lambda Q}{40} = \sqrt{\frac{Q}{20}}$.

4°. Que $\mu = 2$; ainsi le diamètre du moyeu $\mu a = 2a$; on a adopté cette valeur afin que le moyeu ne soit pas écrasé par la charge qui croît avec le diamètre de l'essieu.

5°. Que $\frac{e}{E-e} = \frac{1}{12}$; c'est la même valeur qu'on a donnée au § XXV pour une petite voiture. Comme on ne peut, sans inconvénient, augmenter ce rapport, on l'a conservé pour les grandes voitures.

6°. Que $E = a\sqrt{\frac{1}{12}} = \frac{2}{7}a$; parce que, vers le milieu de la voiture, les essieux n'ont à supporter que le $\frac{1}{12}$ de la charge.

7°. Que $B = 1$ pouce; c'est un fait connu qu'il y a plus d'avantage à faire croître en hauteur les barres des chemins de fer, qu'à les faire croître

en largeur; il suffit donc de faire cette largeur B égale à un pouce. Toutefois si, pour les voitures très chargées, on voulait augmenter cette largeur, le tirage serait alors nécessairement moins pénible, et par conséquent un cheval pourrait traîner un fardeau encore plus grand que celui qui est indiqué par la table.

Rapport de la longueur à la hauteur du chemin. $\frac{L}{H}$	Tirage horizon. d'un seul cheval.	Poids des quatre Roues		Diamètre des Roues		Diamètre des Essieux		Diamètre des Moyeux.	Frais de transport par quint. (§ 67).
		Infér.	Supér.	Infér.	Supér.	Supér.	Infér.		
	Qz	$4gx^2z$	$4gy^2z$	$x\sqrt{z}$	$y\sqrt{z}$	$\alpha\sqrt{z}$	$\alpha\sqrt{z}$	$\mu\alpha\sqrt{z}$	
		Quintaux.		Pouces.					
12,5	184	6,0	5,0	24,5	22,0	3,0	0,9	6,0	1,77 $\frac{Hp}{\alpha}$
25	266	12,0	9,0	34,5	30,0	3,5	1,0	6,0	1,46
50	331	23,5	16,5	48,5	41,0	4,1	1,1	8,1	1,41
100	437	45,5	30,0	67,5	54,5	4,7	1,3	9,3	1,47
200	560	86,0	51,0	93,0	71,0	5,3	1,5	10,6	1,64
300	638	123,0	68,0	111,0	82,0	5,6	1,6	11,3	1,77
400	694	157,5	81,5	125,5	90,0	5,9	1,7	11,8	1,92
500	738	190,0	93,5	138,0	97,0	6,1	1,7	12,1	2,08
600	775	220,5	106,5	148,5	103,0	6,2	1,8	12,4	2,20
700	807	249,5	116,5	158,0	108,0	6,3	1,8	12,7	
800	835	278,0	126,0	166,5	112,0	6,4	1,8	12,9	
900	860	306,0	135,0	174,5	115,5	6,5	1,9	13,0	
1000	883	334,0	143,0	182,0	115,5	6,6	1,9	13,2	

§ LXIV.

On peut voir, par cette table, que sur un chemin horizontal en fer, la charge qu'un seul cheval est

capable de traîner s'élève à 900 quintaux, et par conséquent est plus grande que celle qu'il peut traîner sur un canal de niveau. Cette force de tirage Qz serait encore augmentée si l'on rendait $gx^2 < \frac{x^2}{400}$, ou $a < \sqrt{\frac{Q}{20}}$, ou si l'on prenait pour λ et μ des nombres au-dessous de 2; ces forces de traction si considérables n'ont lieu au surplus que sur des chemins auxquels on peut donner en quelque sorte l'horizontalité des eaux tranquilles dans les canaux. Mais là où la route doit franchir des plateaux élevés avec des pentes rapides, les chemins en fer ainsi que les canaux, à raison de la multiplicité des écluses, n'ont que de faibles avantages qui surpassent à peine ceux des routes existantes. Supposons, par exemple, une montée de 6 pouces par toise, en sorte que l'on ait $\frac{L}{H} = \frac{72}{6} = 12$; pour ce cas particulier, la table donne 181 quintaux de charge par cheval; le poids des roues s'élevant à 11 quintaux, il s'ensuit que la charge totale à traîner sur le plan incliné sera de 192 quintaux; la résistance que la pesanteur oppose au tirage est égale à $\frac{192}{12} = 16$ quintaux; la force d'un cheval sur ce plan incliné est, d'après le § XXXIII,

$$P - \frac{Ho}{2L} = 1 - \frac{5}{24} = \frac{19}{24} \text{ de quintal.}$$

...aux exigeront donc 20 chevaux. ...ajouter un cheval pour vaincre les ... que la voiture éprouve sur le chemin de ...us estimons à 13 quintaux le poids des voi-... sur leurs roues, il ne restera que 168 quin-... sur 181 trainés par 21 chevaux; ce qui donne ... quintaux par cheval: charge que nos voitures ...eavent aussi mener dans les mêmes circonstances sur nos routes ordinaires quand elles sont entretenues en bon état.

§ LXV.

On a déjà observé ci-dessus (§ XXXIX) que les grands fardeaux ne doivent pas être nécessairement chargés sur une seule voiture, mais qu'ils peuvent être distribués sur plusieurs. Les roues hautes et lourdes qu'exigent les grandes voitures peuvent être d'une exécution difficile; et comme le fer ne présente peut-être pas la rigidité suffisante pour résister à une pression de 800 à 1000 quintaux, les repos de ces voitures sur un même point peuvent y laisser des impressions qui mettraient bientôt les barres de fer hors de service. Il n'y a que des expériences en grand qui soient décisives en cette matière; toutefois il est bon de remarquer qu'il est avantageux de rendre les charges aussi grandes que possible; parce que les excès de valeurs

d'après lesquels nous avons calculé les moyeux, les essieux, et le poids des roues, seront d'autant plus grands que la charge elle-même sera plus considérable ; par conséquent ces excès pourront diminuer d'autant plus que l'on augmentera la charge ; on procurera ainsi au roulage le même avantage que l'on obtient dans les fabriques, ou dans tout autre établissement bien dirigé.

Si donc, prenant cette remarque en considération, nous portons la charge de la voiture à 100 ou 150 quintaux, ou à tout autre terme, on pourra, à l'aide de la table et dans chaque cas, connaître tout ce qu'il faut pour l'établissement d'un chemin en fer ; le plus souvent la seule inspection de cette table suffira, sans avoir besoin de s'inquiéter de calculs pénibles pour arriver à un résultat entièrement exact ; car on sait qu'en approchant des *maxima* les petites différences de charge ne sont pas de grande conséquence.

§ LXVI.

La distance du Danube, près Mathausen, par Freystadt, jusqu'à la frontière de Bohême, est de 6 milles d'Allemagne ou de 24,000 toises, et de là jusqu'à Budweis en descendant encore 6 milles d'Allemagne. D'après des mesures barométriques, la hauteur H est sur ce trajet de 260 toises ; le chemin en fer devant participer aux sinuosités du ter-

rain, nous devons l'augmenter à raison de cette circonstance de 2000 toises; en sorte que nous aurons $L = 26{,}000$ toises et $\frac{L}{H} = 100$. A côté de ce nombre, on trouve dans la table 437. C'est le nombre de quintaux qu'un cheval peut mener sur un chemin horizontal. Evaluant le poids des voitures à 37 quintaux, cette charge serait précisément aussi grande que celle qui est menée par un seul cheval sur les canaux d'Angleterre. Le poids des roues supérieures est de 30 quintaux, celui des roues inférieures de 45. Ces poids, ceux de la voiture et de la charge, font ensemble 512 quintaux; 5 chevaux sont nécessaires pour traîner une telle charge sur une route inclinée de $\frac{1}{100}$; à quoi il faut ajouter un cheval pour vaincre la résistance des frottemens. Le nombre 6 a pour diviseurs 6, 3, 2, 1. Ainsi nous pouvons distribuer les 400 quintaux sur :

6 voitures à un cheval chargées chacune de.................... 67 quintaux;
3 voitures à 2 chevaux chargées chacune de.................... 133
2 voitures à 3 chevaux chargées chacune de.................... 200
1 voiture à 6 chevaux chargée de.......................... 400.

Si, pour le transport de cette charge totale, nous la supposons répartie sur 3 voitures, attelées chacune de 2 chevaux, nous aurons, savoir :

Charge de la voiture.......... 134 quintaux;
Poids de la voiture (sans charge) 12
Poids des roues inférieures... $3\frac{3}{4}$
Poids des roues supérieures... $2\frac{1}{4}$.

De plus le diamètre des roues inférieures sera de..... $\frac{67,5}{\sqrt{3}} = 39^{po.}$

Celui des roues supérieures de....................... $\frac{54,5}{\sqrt{3}} = 31,5$;

Le diamètre de l'essieu de la roue inférieure de......... $\frac{4,7}{\sqrt{3}} = 2,7$;

Celui de l'essieu de la roue supérieure de.............. $\frac{1,3}{\sqrt{3}} = 0,8$;

Le diamètre du moyeu $= \mu a = \lambda a$.......... $= \frac{9,3}{\sqrt{3}} = 5,4$.

Les figures 14 et 15 représentent l'élévation et la coupe transversale d'une semblable voiture. Si maintenant on évalue, d'après les prix actuels (1812), d'abord la dépense de six chevaux et de

rain,

consta

L =

bre, c

bre de

chemi

à 37 q

grand

sur le

périeu

rieure

charg

sont n

une r

cheva

Le n

nous

6 v

chacu

3 v

chac

2

chac

1

de.

... de 6 milles et mon-
... de six chevaux et d'un
... milles en des-
... somme de ces dé-
... le prix du trans-
... reviendrait par
... à 4; tandis que
... reviendrait à 2 florins. Il
... 40 fois plus élevé

... moyen facile de déter-
... avantageuse à donner à un
... avoir recours au calcul
... des *maxima* et mi-
... la formule du § XXXIII,
... transport

$$\frac{\ldots}{\ldots \left(\ldots - \frac{hc}{2lP}\right)};$$

... la somme des poids
... les roues = Q. Si nous
... $L = \ldots$ ... $l = \frac{L}{E}$, quantité

indiquée dans la première colonne de la table; si d'ailleurs nous faisons comme ci-dessus, (§ XXXV)

$$P = 1 \text{ et } o = 5,$$

alors les frais de transport par quintal seront

$$= \frac{ph}{Ct} \frac{(l + Qz + 4gx^2z + 4g^2yz)}{\left(1 - \frac{5}{2l}\right)^2 Qz}.$$

Les résultats de cette formule sont consignés dans la dernière colonne du tableau, laquelle fait voir que le *minimum* des frais de transport répond à une pente approchant de $\frac{L}{H} = 50$; l'interpolation des nombre 1,46, 1,41, 1,47, 1,64, montre que ce *minimum* correspond à $\frac{L}{H} = 57,5$; ce qui revient à une pente $\frac{5}{4}$ de pouce par toise.

Dans le cas actuel, $Qz = 350$. Les poids des roues supérieures et inférieures sont de 18 et de 27 quintaux. En les ajoutant à la charge des voitures, on obtient 395 quintaux; lesquels divisés par 57,5, donnent pour quotient le nombre de 7 chevaux; on en prend un de plus pour vaincre la résistance de la voiture. Supposant donc que le poids de la voiture seule soit de 30 quintaux, il restera pour sa charge 320 quintaux à traîner par 8 chevaux, ce qui revient à 40 quintaux par cheval.

D'après ces données, on peut établir les dimensions de la voiture, assigner sa charge et régler son attelage.

§ LXVIII.

Si, outre la portion de route dont la pente totale est H, il y en avait une autre portion de niveau, en faisant la longueur de celle-ci = MH, nous aurions pour l'expression des frais de transport,

$$\frac{ph}{Ct}\cdot\left[\frac{M}{Qz}+\frac{l+Qz+4gx^2z+4gy^2z}{\left(1-\frac{5}{2l}\right)^2}\right].$$

Il suffit donc d'ajouter aux nombres de la dernière colonne les quotiens de M divisé par Qz pour trouver une série de résultats qui feront connaître le *minimum* cherché; supposant par exemple MH = 100 h, et faisant successivement

$$\frac{L}{H}=25,\quad \frac{L}{H}=50,\quad \frac{L}{H}=100,\quad \frac{L}{H}=200,$$

on a pour les frais de transport

$$\frac{ph}{Ct}\left(\frac{100}{246}+1,46\right)=\frac{ph}{Ct}\,1,87;$$

$$\frac{ph}{Ct}\left(\frac{100}{331}+1,41\right)=\frac{ph}{Ct}\,1,71;$$

$$\frac{ph}{Ct}\left(\frac{100}{417}+1,47\right)=\frac{ph}{Ct}\,1,70;$$

$$\frac{ph}{Ct}\left(\frac{100}{560}+1,64\right)=\frac{ph}{Ct}\,1,82,$$

etc.

En interpolant, on trouve que le *minimum* répond à $\frac{L}{H}=75$; ce qui donne une pente de 1 pouce par toise environ.

On trouve de même que pour une longueur horizontale MH $=400\,h$, le *minimum* répond à $\frac{L}{H}=151$, ou $2\frac{1}{2}$ pouces par toise.

En faisant attention à ces exemples, on verra facilement comment il faut procéder pour assigner la pente la plus avantageuse, lorsqu'indépendamment de la hauteur H, il y a encore une autre élévation plus petite à franchir; ou lorsqu'après avoir monté, la route se prolonge en descendant.

§ LXIX.

Jusqu'ici nous avons compris dans la valeur de Qz le poids de la charge et celui des voitures; mais, comme dans l'évaluation des frais de transport on ne doit avoir égard qu'au poids de la charge, la voiture et les chevaux ne formant en quelque sorte qu'un appareil mécanique, il reste à opérer dans Qz la séparation du poids du chargement de

celui de la voiture. Or il est évident d'abord qu'on a intérêt à rendre la voiture la plus légère possible, afin de pouvoir la charger d'une plus grande quantité de marchandises. D'un autre côté, la force et par conséquent les dimensions des différentes pièces de la voiture, doivent augmenter avec le poids du chargement à transporter. Il devient, comme on voit, nécessaire de nous occuper ici de la force des bois, et de rechercher ce qu'ils peuvent porter sans se rompre.

§ LXX.

Une pièce de bois (*fig.* 9) posée sur deux supports A et I étant chargée et courbée pour un poids Q placé en E, les fibres de la face inférieure ACI seront distendues, et celles de la face supérieure *aci* seront comprimées; ainsi il existe dans l'intérieur de la pièce un faisceau de fibres qui ne sont ni ralongées ni raccourcies, et qui conservent leur longueur primitive. Prenons maintenant une seconde pièce du même bois, mais d'une plus grande épaisseur, supposons-la chargée en Q′ d'un poids E′ qui produise la même extension des fibres inférieures et la même compression des fibres supérieures que dans la première pièce. Cela posé, représentons par $ck = c'k'$

(*fig.* 10) l'extension des fibres sur la face inférieure des pièces, et par $ab = a'b'$ la compression des fibres sur leur face supérieure. Des deux proportions

$$ek : Eb :: Ee : Ea,$$
$$e'k' : E'b' :: E'e' : E'a',$$

on conclut, à cause de $ab = a'b'$, et de $ke = k'e'$,

$$Ee : E'e' :: Ea : E'a',$$
$$Ee + Ea = ea : E'e' + E'a' = e'a' :: Ee : E'e',$$

par conséquent, les fibres en E et E' qui n'éprouvent ni extension ni compression, sont situées à des distances proportionnelles aux épaisseurs totales des pièces; concevons les distances Ee, E'e' partagées en un même nombre de parties égales, les fibres passant par les points de division correspondans au même quantième, auront les mêmes extensions dans les deux pièces.

Représentons par Eset et E'$s'e't'$ les sections transversales de la première et de la seconde pièce (*fig.* 11); et soient omr, $o'm'r'$ deux fibres d'égale tension, de même que pnq et $p'n'q'$; il est évident que les forces élastiques des deux surfaces différentielles $opqr$, $o'p'q'r'$ seront proportionnelles à ces surfaces, et que les momens de ces forces seront dans le rapport du produit

$$Em \times or \times mn,$$

au produit

$$E'm' \times o'r' \times m'n',$$

les points E et E' répondans dans les deux figures à la fibre qui n'éprouve ni extension ni compression.

Supposons qu'on prenne les ordonnées or, $o'r'$ des sections $Eset$, $E's'e't'$ proportionnelles à leurs ordonnées st et $s't'$ correspondantes aux fibres d'extension et de compression nulle, de sorte que l'on ait

$$st : s't' :: or : o'r';$$

on aura, à cause de la division des hauteurs Ee, $E'e'$ en parties proportionnelles,

$$Em \times mn : E'm' \times m'n' :: Ee^2 : E'e'^2;$$

et comme cette proportion a lieu pour toutes les fibres soit étendues soit comprimées dans les sections semblables, il s'ensuit que le moment statique de la force qui produit une tension égale dans les fibres de deux corps semblables, sont entre eux comme les produits de leurs largeurs par le carré de leurs épaisseurs. Ainsi cette proposition qui n'avait été démontrée par la théorie et l'expérience que pour des poutres parallélépipèdes, est également vraie pour des corps dont les fibres

sont également tendues et dont les sections transversales sont semblables.

§ LXXI.

Soit Q (fig. 9) un poids suspendu au milieu de la pièce de bois AI; chacun des supports A et I subira la pression $= \frac{1}{2}$ Q; appelant l la longueur totale de la pièce, on aura $\frac{lQ}{4}$ pour moment de cette pression, et de même $\frac{l'Q'}{4}$ pour moment de la pression aux deux extrémités d'une autre pièce également pliée sur ses appuis A'I'.

Soient h, h' les hauteurs; b et b' les largeurs des sections transversales; on aura (§ XXX),

$$\frac{lQ}{4} : \frac{l'Q'}{4} :: h^2b : h'^2b',$$

d'où

$$Q : Q' :: \frac{h^2b}{l} : \frac{h'^2b'}{l'};$$

par conséquent, les poids qui communiquent une égale tension aux deux pièces sont, entre eux, comme les carrés de l'épaisseur, multipliés par la largeur et divisés par la longueur de ces pièces.

§ LXXII.

La dernière proportion donne

$$Q = \frac{Q'l'h^2b}{lh'^2b'}.$$

Les expériences de Buffon et de Muschenbroeck sur la rupture des bois donnent pour $\frac{l'Q'}{b'h'^2}$ 40 ou 50 quintaux. l', b', h' étant exprimés en pouces, et Q' étant exprimé en quintaux, le poids capable de faire rompre une pièce de bois est donc

$$Q = 40^{\text{quintaux}} \times \frac{h^2 b}{l};$$

par conséquent $20 \frac{h^2 b}{l^2}$ donne la moitié du poids nécessaire pour rompre les fibres au moment où elles ont acquis leur *maximum* d'extension.

Le nombre de 40 quintaux ou le coefficient de la résistance, est déterminé par la qualité du bois qui varie non-seulement d'un climat à un autre, mais qui ne reste pas le même pour les bois de même espèce ; les fibres des bois qui croissent dans des terrains marécageux prennent un accroissement plus prompt, et cassent plus facilement que ceux qui croissent dans des lieux élevés exposés aux vents, et qui ont atteint l'âge convenable ; ainsi à la place de 40 ou de 20 quintaux, nous substituerons la valeur générale m, et nous ferons $Q = \frac{mbh^2}{l}$; la valeur m devant être spécialement assignée pour chaque nature de bois ou de métal.

§ LXXIII.

Pour appliquer ce qui précède à des roues en fer, soient :

La circonférence de la roue . . $= p$;
La largeur de la jante . . . . . $= b$;
L'épaisseur de la jante . . . . $= h$;
Le nombre des rais . . . . . . $= n$;

La distance des rais entre eux $= l = \frac{p}{n}$;

d'où la charge d'une jante

$$Q = \frac{mbh^2}{l} = \frac{mbh^2 n}{p}.$$

Les quantités m, b, p étant données, Q devient un *maximum* lorsqu'on a

$$\frac{dn}{dh} = -\frac{2n}{h}.$$

Soient encore :

Le poids d'un rais . . . . $=$ S;
Le poids du moyeu . . . . . . $=$ N;
Le poids d'un pouce cube de fer $=$ E;
Le poids de la roue . . . . . . $=$ R;

On aura

$$R = bhpE + N + nS.$$

R sera un *minimum* relativement à n et h lorsqu'on aura

$$bpE + \frac{Sdn}{dh} = 0.$$

Remplaçant $\frac{dn}{dh}$ par la valeur $-\frac{2n}{h}$ que nous venons de trouver, il vient

$$2Sn = bphE;$$

équation qui exprime la règle d'après laquelle on doit déterminer le nombre des rais d'une roue en fer, pour que cette roue soit en même temps la plus résistante et la plus légère.

§ LXXIV.

Lorsque deux véhicules sont entièrement semblables, leurs charges Q et Q′ sont entre elles comme les carrés des dimensions homologues (§ LXXIII); mais les poids des mêmes véhicules sont entre eux comme les cubes de ces dimensions; il suit de là que les poids des voitures semblables croissent dans un plus grand rapport que les charges

qu'elles peuvent porter; si donc l'on veut que les charges soient proportionnelles aux poids des voitures, il faut renoncer à les rendre semblables. A cet effet, soient

La largeur d'une voiture $= B$;
Sa hauteur . . . . $= H$;
Sa longueur . . . . $= L$;
Le poids de cette voiture $= W$;
Sa charge . . . . $= Q$.

Et soient b, h, l, q, w, des quantités analogues pour une seconde voiture, on aura ces deux proportions

$$Q : q :: \frac{BH^2}{L} : \frac{bh^2}{l},$$
$$W : w :: BHL : bhl.$$

Si les poids doivent être proportionnels aux charges, on aura

$$Q : q :: W : w;$$

par conséquent

$$\frac{BH^2}{L} : \frac{bh^2}{l} :: BHL : bhl;$$

ce qui donne

$$H : h :: L^2 : l^2.$$

Ainsi, les hauteurs des voitures doivent être proportionnelles aux carrés de leurs longueurs. Mettant ce rapport dans la première proportion, on obtient

$$Q : q :: W : w :: BL^3 : bl^3.$$

Faisant

$$B : b :: H : h,$$

il viendra

$$Q : q :: L^5 : l^5,$$

et il sera facile de calculer les dimensions de la voiture; si, par exemple, l'on veut avoir $Q = 2q$, on trouvera

$$L = l \sqrt[5]{2} = (1,1487)\, l;$$

$$H = h \sqrt[5]{4} = (1,3195)\, h;$$

$$B = b . \sqrt[5]{4} = (1,3195)\, b.$$

Ces expressions font connaître que l'agrandissement des voitures de transport doit avoir lieu plutôt dans le sens de leur hauteur et de leur largeur, que dans celui de leur longueur; ce qui est d'autant plus praticable sur des chemins en fer, que les voitures, maintenues toujours dans la

même position verticale et ne rencontrant d'ornières d'aucun côté, sont à l'abri de tout versement.

§ LXXV.

Soit un poids M suspendu à un point quelconque C de la barre I, posée sur les supports AI (*fig.* 12); soient de plus

$$AE = \frac{1}{2} AI = a,$$
$$CE = x;$$

la pression en A sera

$$\frac{M(a+x)}{2a}.$$

Le moment de cette pression est

$$\frac{M(a+x)}{2a}(a-x) = \frac{M(a^2-x^2)}{2a} = h^2;$$

d'où l'on tire

$$M = \frac{2ambh^2}{a^2-x^2};$$

ce qui fait voir que M est un *minimum* lorsque $x = 0$, ou lorsque le poids est suspendu au milieu de la barre AI.

§ LXXVI.

Supposons que la barre ne puisse être courbée par le poids M que depuis A jusqu'en F, et que la force de cohésion en F doive être en équilibre avec le poids M, il est évident que la pression occasionée en F sera $= M . \frac{CA}{FA}$. Nous pouvons considérer cette pression comme une charge appliquée en F; or la pression que cette charge occasionera sur le support A sera $M . \frac{CA}{FA} . FI$. Le moment statique de cette pression pour opérer la flexion en F sera donc

$$M . \frac{CA}{FA} . \frac{FI}{AI} . FA = M . CA . \frac{FI}{AI}.$$

Tel est aussi le moment qui résulte de la pression sur le support I. Ce moment de flexion est évidemment plus petit que celui du poids M par rapport au point C; donc lorsque la barre jouit partout d'une élasticité uniforme, la plus grande flexion a lieu à l'endroit où le poids est appliqué.

Si l'on attache un second poids L en un autre point B, il en résulte pour le point F un moment de flexion

$$L . \frac{BA}{AI} . FI;$$

et pour la somme des deux momens de flexion sur le même point F,

$$(M.CA + L.BA)\frac{FI}{AI}.$$

En général, si plusieurs poids L, M, N, O, P sont distribués sur une même barre élastique, on aura, pour cette somme de momens,

$$(L.BA + M.CA + N.DA + \text{etc.})\frac{FI}{AI};$$

et de même, la somme des momens d'une suite de poids suspendus entre I et F devient

$$(O.GI + P.HI)\frac{FA}{AI}.$$

Soit donc une charge Q, distribuée uniformément le long d'une barre AI; il est évident que la partie AEF de cette barre supportera la charge $Q.\frac{FA}{AI}$; et le centre de gravité de cette charge se trouvera au milieu de AF; par conséquent, le moment total des poids distribués de A en F sera

$$Q.\frac{AF}{AI}.\frac{AF}{2}.\frac{FI}{AI}.$$

De même le moment total des poids distribués de

I en F sera,

$$Q.\frac{FI}{AI}.\frac{FI}{2}.\frac{AF}{AI}.$$

La somme de ces efforts sera donc

$$\frac{Q.(AF.FI)}{2AI};$$

et comme cette valeur n'est que la moitié de celle que l'on obtiendrait si la charge Q était inégalement suspendue ou posée sur le point F, il s'ensuit qu'en distribuant la charge uniformément sur une barre quelconque de dimensions données, la résistance de cette barre devient double de celle qui lui serait nécessaire pour résister à la même charge Q, si elle était concentrée en un seul point entre ses deux extrémités.

§ LXXVII.

Lorsque les supports sont placés aux extrémités de la barre, mais en des points intermédiaires B, D également éloignés de ces extrémités, et que la charge Q est uniformément distribuée sur la longueur totale (*fig.* 13), on aura

1°. Partie de la charge sur $BD = \frac{Q.BD}{AE}$.

2°. Partie de la charge sur AB et sur DE $= \frac{Q.AB}{AE}$.

Le point milieu C aura à supporter le même effort que si en C était appliquée la charge

$$\frac{Q.BD}{2AE};$$

le moment de la charge sur AB et DE sera

$$\frac{Q.\overline{BD}^2}{2AE} = \frac{Q.\overline{DE}^2}{2AE}.$$

Ces deux momens réagissent sur le point milieu C de la barre; donc la charge qui comprime verticalement ce point sera exprimée par

$$\frac{Q.BD}{2AE} - \frac{Q.\overline{AB}^2}{2AE.BC}.$$

La pression sur les supports D et B est donc

$$\left(\frac{Q.BD}{2AE} - \frac{Q.\overline{AB}^2}{2AE.BC}\right)\frac{BC}{BD};$$

par conséquent, le moment statique de la tension du bois en C est exprimé par

$$\left(\frac{Q.BD}{2AE} - \frac{Q.\overline{AB}^2}{2AE.BC}\right)\frac{BC}{BD} . BC = \frac{Q.\overline{BC}^2 - Q.\overline{AB}^2}{2AE.}.$$

La résistance de la barre s'exercera donc le plus

utilement possible, lorsque les momens statiques des tensions autour des points de rupture B, C, D seront égaux entre eux. Cette condition fournit l'équation

$$Q.\overline{AB}^2 = Q.\overline{BC}^2 - Q.\overline{AB}^2\,;$$

d'où

$$\overline{BC}^2 = 2\overline{AB}^2\,;$$

et par conséquent

$$AB : BC :: 1 : \sqrt{2} :: 5 : 7 \text{ environ};$$

ce qui donne la règle suivante pour déterminer l'emplacement des roues.

La longueur de la voiture étant divisée en 24 parties égales, si à partir de chacune de ses extrémités on prend 5 de ces parties, les points ainsi déterminés seront l'emplacement des roues qui laisseront ainsi entre elles un intervalle de 14 parties.

§ LXXVIII.

On charge ordinairement les voitures de roulage plus dans leur milieu, entre les points O et N (*fig.* 13), qu'à leurs extrémités; ayant égard à cette circonstance, soit f la section transversale de la charge entre A et O, ou entre E et N, et F sa

section transversale entre O et N. Soit K le volume total de la charge, les poids des différentes portions de la charge seront, savoir :

1°. Sur AB et DE.............. $\frac{Q.AB.f}{K}$;

2°. Sur BO et ND.............. $\frac{Q.BO.f}{K}$;

3°. Sur OC et CN.............. $\frac{Q.CO.F}{K}$.

Le moment de la charge de A en B est exprimé par

$$\frac{Q.\overline{AB}^2.f}{2K}.$$

En vertu de cet effort, le point milieu C est soulevé de bas en haut par un poids

$$\frac{Q.\overline{AB}^2.f}{2K.BC};$$

d'un autre côté, la charge que supporte BO exerce de haut en bas sur le point C une pression

$$\frac{Q.\overline{BO}^2.f}{2K.BC};$$

enfin la charge sur CO presse le même point avec une force

$$\frac{Q.F.CO}{K.BC}(BO + \tfrac{1}{2}CO).$$

Les mêmes effets étant produits par les portions de charge réparties de E en C, il s'ensuit que la charge totale qui comprime le point C sera exprimée par

$$\frac{Q}{K.BC}[\overline{BO}^2.f + (2BO + CO)\,OC.f - \overline{AB}^2 f].$$

Cette charge exercera des actions égales sur les deux supports B et D. Il en résultera pour le point milieu C un effort exprimé par

$$\frac{Q}{2K}(\overline{BO}^2 f + 2BO.CO.F + \overline{CO}^2.F - \overline{AB}^2 f)$$

$$= \frac{Q}{2K}\left[(BO + CO)^2 F - \overline{BO}^2(F - f) - \overline{AB}^2 f\right].$$

Si les momens ou les résistances à la flexion doivent être égaux en B, C, D, on a

$$\overline{AB}^2.f = \overline{BC}^2.F + \overline{BO}^2.F + \overline{BO}^2.f - \overline{AB}^2 f,$$

ou $$(2\overline{AB}^2 - \overline{BO}^2)f = (\overline{BC}^2 - \overline{BO}^2)F.$$

§ LXXIX.

On tire de là les conséquences suivantes :

1°. Lorsque $F = f$, on a

$$2\overline{AB}^2 = \overline{BC}^2;$$

donc pour une charge uniformément distribuée

$$AB : BC :: 1 : \sqrt{2} :: 5 : 7,$$

comme on l'a trouvé ci-dessus (§ LXXVII).

2°. Lorsque $F = \frac{4}{3} f$, et $BO = \frac{1}{2} BC$, il vient

$$16\,\overline{AB}^2 = 11\,\overline{BC}^2;$$

et par conséquent

$$AB : BC :: \sqrt{11} : 4 :: 5 : 6 \text{ environ.}$$

3°. Lorsque $F = 2f$ et $BO = 0$, on a

$$AB = BC.$$

Dans tous ces cas, nous voyons que le rapport $\frac{BC}{AB}$ tombe entre 1,4 et 1 ; d'où l'on peut déduire, dans les divers cas, la meilleure distribution de la charge sur la voiture.

§ LXXX.

Ces propositions suffisent pour comparer entre elles des voitures d'une bonne et convenable con-

struction, qui les rende tout-à-la-fois plus spacieuses, moins pesantes et tout aussi durables. Ordinairement on évalue le poids des voitures non compris celui de leurs roues, au $\frac{1}{8}$ de leur charge. Comme ces voitures, en roulant sur les pavés et les pierres de nos routes, sont exposées à des cahots qu'elles n'éprouvent pas sur les ornières de fer, on conçoit que, dans ce dernier cas, les mêmes voitures peuvent recevoir une charge plus considérable; d'un autre côté, la direction de leur mouvement étant invariablement donnée par la direction de la voie en fer sur laquelle elles cheminent, l'appareil au moyen duquel il faut les rendre capables de tourner sur elles-mêmes peut être supprimé, ce qui diminue encore leur poids d'autant. Ces considérations réunies viennent à l'appui des suppositions d'après lesquelles nous avons évalué le poids de ces voitures quand elles sont vides au dixième du poids de leur charge. Nous pensons même que l'on pourrait encore diminuer ce rapport, quoiqu'il soit déjà moindre que celui qui existe ordinairement entre le poids des bateaux en usage sur les canaux de navigation, et le chargement de ces bateaux.

§ LXXXI.

Examen des circonstances où les canaux de navigation, les routes en fer et les routes ordinaires, sont les plus favorables aux prix des transports.

Un si grand intérêt s'est attaché à la navigation dans les temps modernes, qu'elle a lieu non-seulement sur les mers et sur les fleuves, mais encore au milieu des continens, à l'aide de canaux artificiels qui franchissent les montagnes au moyen d'écluses. Les nations les plus éclairées rivalisent entre elles aujourd'hui pour illustrer notre siècle par des entreprises de cette nature; et on ne recule devant aucune dépense pour procurer au commerce, à l'industrie et à l'agriculture, les avantages des communications par eau.

Cependant, il se présente la question de savoir si les canaux offrent le seul moyen, ou du moins le moyen le plus convenable de diminuer le prix des transports, ou *le fret* des marchandises; cette question est, à la vérité, sans intérêt, et peut être regardée comme résolue dans les pays où les dépenses ont déjà été faites, et où il y a des canaux ouverts. Mais sa solution est de la plus haute importance pour ceux où, à raison de difficultés diverses, on a

suspendu et ajourné, à des temps plus prospères l'exécution de quelques canaux projetés.

§ LXXXII.

Dès le XIVe siècle, sous l'empereur Charles IV, il a été question en Bohême de réunir par un canal navigable la Muldaw et le Danube. L'historien Dubraw rapporte que des ingénieurs avaient déjà levé le plan du pays compris entre les deux fleuves, et qu'on avait commencé à creuser le canal aux frais de la riche maison de Rosenberg, mais que les riverains du Danube manifestèrent quelques craintes sur la perte des avantages qu'ils retiraient de la navigation de ce fleuve; et qu'enfin les guerres qui éclatèrent alors firent interrompre une entreprise si éminemment utile à toute la Bohême.

Depuis cette époque le projet fut remis sur le tapis par le comte Waldstein, sous Ferdinand II; par le comte Zinzindorf, sous Léopold Ier; par le comte Wrateslaw, sous Joseph Ier; et principalement sous Charles VI et Marie-Thérèse. On le soumit à l'examen de plusieurs ingénieurs hydrauliciens, Vogemont, Scholz, Bréguin, Walcher, Rosenauer, etc. Les uns jugèrent que le projet était exécutable; les autres mirent en doute la pos-

sibilité de son exécution ; mais tous s'accordaient à regarder l'entreprise comme très dispendieuse ; et c'est par cette raison qu'elle a été abandonnée. En 1807, la Société hydrotechnique de Bohême, présidée par le prince Antoine-Isidor de Lobkowitz, nous chargea, M. le baron de Pakassy, conseiller des bâtimens, et moi, d'examiner les différens projets conçus pour la réunion des deux fleuves, et d'indiquer le meilleur d'entre eux. Notre rapport, en date du 31 décembre 1807, est déposé aux archives de la société, et contient en substance ce qui suit :

§ LXXXIII.

La chaîne de montagnes qui sépare la Bohême de la Haute et de la Basse-Autriche, offre, dans ses dépressions là où l'on pourrait établir le point de partage de ce canal, une hauteur de plus de 2 à 300 toises au-dessus du niveau du Danube. De telles hauteurs n'ont été jusqu'à présent franchies par aucun canal. Le grand nombre d'écluses qu'un semblable état de choses rend nécessaires, les dépenses considérables qu'exige leur établissement, la durée de 4 à 5 jours que les bateaux emploieront à traverser ces écluses, et d'autres obstacles que présentent les localités, réclament pour cette

entreprise plus d'attention et de prévoyance que pour toute autre entreprise semblable, où l'on n'aurait point à surmonter des difficultés du même ordre.

§ LXXXIV.

La communication la plus courte et la moins coûteuse est celle qui a été proposée par M. l'ingénieur en chef Walcher; son projet consiste à conduire le canal depuis la Moldaw, près de Hohenfurt, jusqu'à Lintz, à travers le Haselgraben. En établissant le canal dans cette contrée, la plus courte distance des deux fleuves est de 5 milles d'Allemagne. Si donc nous évaluons à 100,000 florins (*) les frais de l'ouverture du canal par mille, non compris les frais de construction des *écluses*, des ponts, etc., la dépense totale des terrassemens du canal reviendra à 500,000 florins. Des opérations de nivellement ont appris que le plateau le moins élevé, situé près de Glossau, est à

(*) En 1794, on estimait, en Angleterre, les frais d'un canal par mille anglais avec ses écluses à 4000 livres sterl. Or le mille anglais revient à 848 toises, et le mille d'Allemagne à 4000 toises de Basse-Autriche; la livre sterling est évaluée à 10 florins 30 kreutzers. D'ailleurs, d'après ces rapports, le mille d'Allemagne, canalisé avec 5 à 6 écluses, reviendrait à 198,113 florins, *de* 2^{fr},218 *l'un*.

1700 pieds (*) au-dessus du niveau du Danube, près de Lintz. Le même plateau est élevé de 784 pieds au-dessus de la Moldaw, près du moulin de Joachim, au-dessous de Hohenfurt; si maintenant, comme l'usage s'en est établi, nous comptons 8 pieds de chute par écluse, il en faudra 212 sur le premier versant, et 98 sur le second, c'est-à-dire en tout 310 écluses. Évaluant le coût de chacune d'elles à 10,000 florins (**), nous aurons une dépense totale de 3,100,000 flor. pour les 310 écluses. A quoi il faut ajouter 10 ponts et 8 ponceaux pour l'écoulement des eaux des montagnes par-dessous le canal, 40 à 50 ponts de communication par-dessus, enfin l'établissement de plusieurs réservoirs et de quelques autres ouvrages; d'où l'on est fondé à conclure que l'établissement du canal dont il est question ne peut avoir lieu, à moins d'une dépense de 5,000,000 de florins.

(*) Il s'agit ici du pied en usage dans la Basse-Autriche, lequel équivaut à $0^{m},316$.

(**) En Angleterre, on évalue les frais d'une écluse à autant de fois 100 livres sterl. qu'elle a de pieds de chute; mais ordinairement elle coûte davantage. (*Description des canaux de navigation construits en Angleterre depuis 1759, par Hogreve.*) Hanovre, 1780; in-4°, page 112.

Comptant les intérêts de ce capital à 5 pour 100; estimant sur le même pied les frais d'entretien des écluses, ponts, digues, etc.; on voit qu'il faudra, pour couvrir les dépenses annuelles, prélever 10 pour 100 de ce capital, ou faire rentrer chaque année 500,000 florins de droits de péage.

§ LXXXV.

Le sel est le principal objet de commerce de cette contrée; on le transporte sur bateau, depuis Germunden en Haute-Autriche jusqu'à Mathausen ou jusqu'à Lintz; là, les voituriers de Bohême viennent le prendre, et le transportent par-dessus les montagnes jusqu'à Budweis, d'où il est voituré par terre dans les cercles de Prachin, de Pilsen et de Ebribogen, ou conduit dans les autres cercles sur la Moldaw, à Prague, et dans les magasins à sel situés sur l'Elbe.

D'après les registres de l'administration des salines de Budweis, 360,000 quintaux de sel sont venus en 1806 de Mathausen et de Lintz à Budweis. Les rapports qu'on a recueillis font connaître que toutes les autres marchandises s'élèvent à peine à 20,000 quintaux. Cependant, pour faire entrer en considération l'espoir d'un accroissement de commerce, admettons qu'il devienne 7 fois plus consi-

dérable et qu'il s'élève à 140,000 quintaux, nous aurons en tout 500,000 quintaux (*). Or s'il faut prélever 500,000 florins pour les intérêts des capitaux employés et les dépenses annuelles du canal, on devra fixer le péage à un florin par quintal sur les 5 milles de distance : ce qui reviendra à 12 *kreut.* par quintal et par mille d'Allemagne.

Dans les années de 1770 à 1790, aux prix courans desquelles les dépenses de construction ont été évaluées ci-dessus, les frais de transport par voiture s'élevaient de 3 à 4 *kreutzers* le quintal pour un mille de distance. Les frais de navigation seraient donc, comme on voit, 3 ou 4 fois plus considérables que les frais de roulage. Il est évident, par là, qu'on ne peut

(*) Les rapports les plus authentiques parvenus à la Société hydrotechnique de Bohême, sur le commerce de transport dans les provinces méridionales, donnent en nombres très ronds les résultats moyens suivans, pris sur les années 1806, 1807, 1808.

Sel importé d'Autriche et de Pologne	520,000 *quintaux.*
Marchandises importées d'Italie....	70,000
Id. exportées en Italie, dans le Tyrol, en Autriche et en Hongrie..........	30,000
Par transit (de Saxe et de Silésie pour l'Italie).....................	30,000
	650,000 *quintaux.*

se promettre aucun avantage de l'établissement de ce canal, quelle que fût l'économie que l'on apportât dans les frais de halage des bateaux et dans ceux du fret par quintal. Le cas actuel est même de telle nature, que si le canal était exécuté soit avec des fonds qu'il plairait à S. M. d'y consacrer, soit avec des fonds dont une compagnie ferait les avances, et qu'ensuite on donnât le canal en propriété à la famille de l'entrepreneur, ainsi qu'on a donné celui de Languedoc, à condition seulement que ces propriétaires pourvoiraient aux frais de son entretien, il arriverait encore que ces frais et ceux d'administration surpasseraient le prix du transport par terre d'une même quantité de marchandises; d'où il suit qu'on préférerait toujours cette dernière voie, et que le canal resterait abandonné à l'action destructive du temps.

§ LXXXVI.

Le projet de l'ingénieur Vogemonte (*), qui consiste à réunir le Molsching en Bohême avec l'Aust en Basse-Autriche, allongerait de 5 milles

(*) *Trattato intorno allo stabilimento del commercio che introdorsi potrebbe nella Germania rendendo navigabili il fiumi di esso ed unendoli per mezzo di canali con il Danubio ad altri fiumi del mezzogiorno.* (In-8°, *Vienna* 1709).

le développement du canal le long des bords escarpés de ces deux petites rivières; il diminuerait d'environ 40 à 50 toises l'élévation du côté du Danube, mais il l'augmenterait d'autant du côté de la Bohême. Les frais de construction dont nous venons de présenter l'évaluation seraient donc encore augmentés par une plus grande quantité de terrassemens et d'écluses; il deviendrait par conséquent encore plus difficile d'en obtenir la compensation et de soutenir l'entreprise.

§ LXXXVII.

Un autre projet que Vogemonte a présenté avec plus de détails et qu'il a le plus recommandé, consiste à réunir la Luschnitz ou Lauschitz près de Altwaitrah, par le Zwetellbach, avec le Kamp en Basse-Autriche. Les bords peu élevés de la Luschnitz, la contrée riche en eaux que cette rivière traverse, et le débouché du canal dans le Danube près de Vienne, capitale de la monarchie, sont des circonstances très favorables à ce projet; d'un autre côté, la longueur du canal mesurée sur le Thalweg, des rivières qu'on propose de joindre, est de 36 milles. La hauteur du point de partage, situé près de Hirschenhof, est de 230 toises au-dessus de la surface du Danube à Krembs, et de 152 toises au-dessus de la Moldaw à Thein. La somme de ces

deux hauteurs est de 382 toises, qu'il faudrait racheter, comme il a été dit, par 286 écluses. La dépense de ce canal, en terrassemens et ouvrages d'art, s'élèverait à plus de 10,000,000 de florins.

Il se pourrait, à la vérité, que la quantité de marchandises transportées sur ce canal fût augmentée de chargemens d'eau-de-vie et de divers autres produits d'industrie rurale et manufacturière destinés pour Vienne. Quant au transport du sel en Bohême, comme on ne compte que 12 à 14 milles de Mathausen ou de Lintz à Budweis, tandis qu'il en faudrait faire plus de 50 en allant sur le Danube, depuis Mathausen jusqu'à Krembs, et de là sur le canal le long des bords du Kamb, du Zwetellbach et de la Lauschitz, on conçoit que le transport de cette denrée se ferait toujours par terre; à moins que par une exception en sa faveur, on ne diminuât le taux du péage qu'elle devrait supporter. Ces considérations suffisent pour montrer que les frais de ce deuxième projet surpasseraient de beaucoup ceux du premier, quoiqu'on pût à peine espérer d'en obtenir les mêmes revenus.

§ LXXXVIII.

L'estimation des ouvrages a été faite en prenant pour base le prix moyen des années comprises de

1770 à 1790; parce que ces prix sont bien connus et mieux déterminés que les prix actuels des mêmes ouvrages. Si depuis cette époque ces prix se sont sensiblement élevés, les frais de transport se sont aussi élevés dans la même proportion. Le rapport de la dépense au revenu doit par conséquent rester le même, soit que l'on établisse le calcul sur les prix anciens, soit qu'on l'établisse sur les prix actuels.

§ LXXXIX.

La Bohême n'ayant pas de mines de sel est obligée de s'en approvisionner sur les bords du Danube. Cette circonstance particulière a engagé le gouvernement de ce pays à prendre cet objet en grande considération, à rechercher les moyens de faciliter le transport de cette denrée, et à faire tourner ainsi l'économie de ce transport au profit de la culture des terres dans ces contrées montueuses. Tous les écrits publiés à ce sujet n'ont parlé jusqu'ici que des canaux qui ont été ouverts en d'autres pays, et ils ont représenté les frais de la navigation comme très faibles, quand on les compare à ceux du transport par terre; mais les auteurs de ces ouvrages n'ont point eu égard aux circonstances locales qui ont pu diminuer le prix de

[illegible]

Les avantages des canaux de navigation, qui ne sont autre chose que des *routes d'eau*, consistent dans la grande *mobilité* des molécules de ce fluide, dans l'*horizontalité* de sa surface, et dans la *facilité* avec laquelle les bateaux, sans secours étran-

---

(*) *Histoire du Canal du Midi*, par F. *Andréossy*, in-8°. Paris, an VIII.

gers et par la seule action du poids de l'eau, peuvent être transportés, au moyen d'écluses, par-dessus les montagnes.

§ XCI.

Quant à la *mobilité* des molécules de l'eau les unes sur les autres, il a déjà été remarqué qu'elle disparaît entièrement en hiver; dans les pays du Nord, par exemple, la navigation est interrompue pendant plusieurs mois de l'année. En été, cette interruption a lieu par l'effet de la sécheresse; car alors la plupart des canaux manquent d'eau. Sur les routes de terre, au contraire, on peut cheminer en toute saison en hiver comme en été; les réparations même qu'on est obligé d'y faire n'interrompent point le passage des voitures, parce qu'on peut éviter aisément par un détour les endroits en réparation. Sous ce rapport, la voie de transport par terre présente déjà des avantages essentiels sur la voie de transport par eau.

§ XCII.

A tous les degrés de température où l'eau conserve sa liquidité, la mobilité de ses molécules les unes sur les autres est à la vérité très grande, mais

non pas telle cependant que les bateaux qui flottent sur un canal puissent se mouvoir sans y éprouver aucune résistance. En effet, ces bateaux s'enfoncent d'autant plus qu'ils sont plus chargés; et plus l'espace qu'ils occupent dans le fluide est considérable, plus aussi leur mouvement devient difficile. Les molécules d'eau qui se trouvent en avant du bateau sont repoussées latéralement, tandis qu'au contraire il reste en arrière un espace vide, que l'eau qui afflue par les côtés tend continuellement à remplir. Ainsi le fluide, s'élevant à la proue, se déprime à la poupe du bateau; ces effets, désignés sous les noms de *mou* et de *remou*, sont d'autant plus sensibles que la vitesse du bateau est plus grande. De cette dénivellation résulte sur la face antérieure du corps flottant une pression qui s'exerce dans une direction opposée à celle dans laquelle il se meut. Il faut donc employer une certaine force pour surmonter cette pression; c'est à cette force que, dans la plupart des ouvrages d'hydrauliques, on a appliqué la dénomination de *résistance de l'eau*.

§ XCIII.

Nos connaissances en hydrodynamique ne sont pas assez avancées pour que nous puissions assigner la mesure exacte de cette résistance, eu égard à la

surface submergée et à la vitesse des corps flottans. Cependant des expériences nombreuses ont appris que la résistance qu'éprouvent ces corps est proportionnelle aux carrés de leurs surfaces, et aux carrés de la vitesse avec laquelle ils se meuvent. Ainsi, l'eau oppose aux bateaux une résistance analogue à celle que les pavés opposent aux voitures qui roulent sur les chaussées. Le mouvement des bateaux, limité par leur vitesse et par la force de traction à laquelle ils sont soumis, ne peut donc être assigné, si l'on ne prend en considération et le volume d'eau que ces bateaux déplacent, et l'espace qu'ils doivent parcourir en un temps donné.

§ XCIV.

Sur les canaux anglais, entre Oxford et Litchtfield, les bateaux ont 70 pieds de longueur et 5 pieds de large. Ils tirent 4 pieds d'eau et chargent 20 à 24 tonneaux, de 2000 livres l'un (334 à 389 quintaux de Basse-Autriche). Ils n'exigent qu'un seul cheval pour leur hallage, et font par heure de 2 à 3 milles anglais ou de 1696 à 2544 toises de Basse-Autriche.

Sur les canaux entre Liverpool et Leeds, ainsi que sur le canal du duc de Bridgewater, les bateaux ont de 70 à 80 pieds de longueur, et de 14 à 15 pieds

de large. Ils chargent de 50 à 60 tonnes (810 à 970 quintaux de Basse-Autriche); enfin ils sont conduits par deux chevaux avec la même vitesse de 3 milles anglais par heure.

§ XCV.

On trouve pour la force de traction d'un cheval déduite de ces deux observations des expressions différentes, ce qui provient évidemment de la différence de poids des bateaux vides, eu égard à leur capacité. Supposons, par exemple, que les bateaux soient construits en bois de chêne de 3 pouces d'épaisseur, alors le poids des petits bateaux en usage entre Oxford et Litchfield sera environ de 200 quintaux de Basse-Autriche; et celui des grands bateaux de Liverpool d'environ 300 quintaux. Évaluant la charge des premiers à 380 quintaux, et la charge des derniers à 860, nous aurons pour les poids totaux des premiers bateaux et de leurs chargemens 580 quintaux, et 1160 quintaux pour le poids des derniers bateaux, leurs chargemens compris; par conséquent, dans les deux cas, la charge conduite par un seul cheval revient à 580, ou en nombres ronds à 600 quintaux, savoir: 200 pour le poids du bateau vide, et 400 pour celui de sa cargaison. Si, conformément aux données précédentes, nous admet-

tons que chaque cheval de halage parcoure en deux heures 5 milles anglais, ou 4240 toises (mesure de la Basse-Autriche), la vitesse de chaque cheval par seconde sera de 3,53 pieds, laquelle ne surpasse pas la vitesse des chevaux attelés à nos manéges et à nos voitures de transport; elle lui est même un peu inférieure. Cependant nous n'aurons pas égard à cette légère différence, et nous supposerons que les bateaux et les voitures sont traînés avec la même vitesse.

Nous ferons seulement remarquer qu'en divisant une masse déterminée en petits chargemens, on la rendra plus facilement transportable sur des routes ordinaires qu'elle ne serait sur un canal, réunie en une seule cargaison; car un grand bateau déplaçant un plus grand volume d'eau, les chevaux qui le traînent sont forcés pour vaincre la résistance qu'ils éprouvent, d'aller plus doucement; ce qui empêche quelquefois de tirer de leur force musculaire le meilleur parti possible.

Au surplus, les expériences que nous avons citées sur les frais de navigation ayant été faites en Angleterre, c'est-à-dire dans le pays où l'on a exécuté le plus de canaux, nous pouvons regarder leurs résultats comme les plus avantageux aux canaux navigables et les plus certains que l'on puisse obtenir sur la matière.

§ XCVI.

Quatre chevaux attelés à une voiture traînent ordinairement sur nos routes une charge de 45 à 50 quintaux, ou de 60 à 70, y compris le propre poids de la voiture. De tels attelages peuvent même franchir les montagnes sans chevaux de renfort, pourvu que l'inclinaison de la route ne soit pas de plus de 4 pouces par toise. Mais les marchandises transportées par terre étant plus tôt rendues à leur destination que quand on les transporte par eau, à raison du développement des canaux autour des côtes et des montagnes, et à raison du temps que les bateaux emploient à traverser les écluses, il est nécessaire, pour plus d'exactitude, de comparer les deux voies en supposant l'une et l'autre également horizontales, et de considérer à part le roulage par-dessus les montagnes et la navigation à travers les écluses. Or, on peut estimer à 80 ou 100 quintaux la charge de 4 chevaux attelés à une voiture sur une route horizontale bien dressée. Chaque cheval traînera donc 20 à 25 quintaux, ou 15 à 20 quintaux de charge, le poids de la voiture étant défalqué. Or cette charge est, comme on voit, 20 à 25 fois plus petite que celle que peut mener un cheval sur un canal de navigation (§ XCV).

§ XCVII.

En Angleterre, on estime qu'un cheval traîne sur un chemin de fer un chargement de 70 à 80 quintaux, ou de 90 à 100 quintaux, en comptant le poids de la voiture. Cette charge est 4 fois plus considérable que celle des voitures de roulage ordinaires; mais elle n'est que la cinquième ou sixième partie de celle qu'un cheval peut traîner sur un canal. Avec cette charge de 90 à 100 quintaux, un cheval peut même franchir de petites élévations. Nous avons montré précédemment que le *maximum* de charge est déterminé ici par le rapport qui existe entre la longueur et la hauteur verticale du chemin à parcourir, et qu'on peut l'obtenir en employant les doubles roues. Ce *maximum* peut même surpasser celui de la charge d'un cheval sur les canaux les plus fréquentés. En général, quand on emploie des voitures légères, on n'a à vaincre, outre le frottement, que la résistance de l'air; tandis qu'en employant de grands bateaux, il faut surmonter la résistance d'un fluide 800 fois plus pesant que l'air. Il semble permis de conclure de là qu'en donnant aux voitures la légèreté et la mobilité dont elles sont susceptibles sur les chemins de fer, on pourra comparer avec avantage la force de traction

qui les met en mouvement, à la force de traction des bateaux sur les canaux de navigation.

§ XCVIII.

Quelques soins qu'on apporte à l'exécution et à la mise en place des ornières en fer, on ne peut sans doute espérer que leur horizontalité soit jamais aussi parfaite que celle des eaux tranquilles. Mais nous avons déjà remarqué que le niveau de celles-ci est sensiblement altéré par le mouvement du *mou* et du *remou* autour des bateaux; tandis que, sur les chemins en fer, le fréquent passage de voitures plus ou moins lourdes contribue, comme l'expérience l'apprend, à rendre les ornières de plus en plus unies et moins susceptibles de recevoir des empreintes: ce qui diminue sensiblement le frottement et les autres résistances qu'elles pourraient opposer au mouvement. Quant aux petites inégalités qui se manifesteraient dans la pose de ces ornières, ou qui s'y formeraient par l'effet de leur flexion sous la charge, nous avons déjà remarqué (§ XIII) qu'elles ne peuvent ni favoriser le tirage ni lui nuire, attendu que ces petites inégalités accidentelles sont aisément franchies en vertu du mouvement imprimé à la voiture, laquelle, d'ailleurs, regagne en descendant de ces légères sommités, la vitesse qu'elle a perdue en les gravissant.

§ XCIX.

Quant à l'avantage qu'offrent les écluses sur les canaux de navigation, pour faire franchir aux bateaux des côtes plus ou moins hautes, il a déjà été remarqué (§ LII) que la perte de temps indispensable à la manœuvre de ces écluses, occasionne un inconvénient non moins grand que celui d'employer des chevaux de renfort pour franchir les mêmes côtes au moyen de chemins de fer. Peut-être dira-t-on que les chevaux de halage se reposant auprès de chaque écluse, y reprennent haleine pour continuer ensuite le halage avec plus de force sur le reste du canal; mais, outre que l'expérience de ce qui se passe sur les canaux anglais a prouvé que la vitesse des chevaux de halage n'y est pas plus grande que celle des chevaux attelés à des voitures de roulage, on peut observer que s'il résulte quelque augmentation de force des légers repos que prennent les chevaux auprès des écluses, elle s'épuise bientôt à leur entrée et à leur sortie. On sait en effet que pour épargner l'eau et les frais de construction, on rend les écluses plus étroites que le reste du canal, et que même, le plus souvent, on ne leur donne que la largeur suffisante pour le passage d'un seul bateau. Or, comme l'eau qu'il

déplace lorsqu'il y entre ou qu'il en sort doit nécessairement s'écouler par le petit espace qui reste entièrement libre entre ses bords et les parois de l'écluse, il arrive, dans le premier cas, que la surface de l'eau se trouve plus élevée à la proue, et dans le second plus déprimée à la poupe du bateau que dans le reste du canal; d'où l'on voit que les chevaux doivent employer plus de force pour mettre un bateau en mouvement, à l'entrée et à la sortie des écluses, qu'ils n'en emploient pour le halage dans les biefs où le canal a toute sa largeur.

§ C.

Dans le même but de diminuer les frais de construction, on donne aussi aux ponts-canaux destinés à traverser des cours d'eau ou des vallées, ainsi qu'aux tranchées souterraines, une largeur moindre qu'aux autres parties du canal; par les mêmes raisons, la navigation y devient plus lente et plus pénible. Les chemins en fer sont non-seulement débarrassés de ces inconvéniens; mais ils ont encore sur les canaux les avantages suivans :

1°. Il a déjà été remarqué que des voitures de transport peuvent rouler toute l'année sur des bandes de fer, sans être arrêtées ni par les frimats de l'hiver ni par la sécheresse de l'été; la répara-

tion de ces chemins peut même s'effectuer sans qu'on soit obligé pour cela d'interrompre la circulation des voitures.

2°. En descendant sur des ornières en fer, les voitures n'ont pas besoin de chevaux; il ne faut qu'un homme pour diriger l'enrayement. Sur des canaux, au contraire, des chevaux sont indispensables, soit pour monter, soit pour descendre; parce que l'eau se tenant de niveau dans ces biefs, il n'y a pas de courant dont on puisse se servir pour accélérer le transport du bateau. L'avantage que présentent à cet égard les chemins de fer est si important dans les contrées où la nature du sol permet de régler la pente de ces chemins, de manière à réduire la force de tirage à la moitié de celle qu'il faudrait employer sur des chemins de niveau, que toute la dépense provenant de l'emploi des chevaux de renfort peut être compensée; car au retour, en descendant, on en épargne autant qu'on a été obligé d'en prendre de plus en allant et en montant; tandis que la perte de temps qui a toujours lieu au passage des écluses, ne peut être rachetée par aucune compensation.

3°. Outre les chevaux de halage, le service des bateaux exige encore 2 ou 3 hommes, dont l'un surveille les chevaux pendant que l'autre dirige le bateau. Sur un chemin de fer, l'ornière elle-même

sert à diriger la voiture ; et pour soigner les chevaux de plusieurs, il n'est besoin que d'un seul charretier ; seul il peut aussi, dans les descentes, retenir plusieurs voitures lorsqu'elles sont attachées les unes aux autres, et qu'elles sont disposées à être facilement enrayées, soit à l'aide de sabots, soit à l'aide de leviers et de poids.

4°. Comme les chevaux marchent en avant de la voiture et sur le milieu du chemin, il s'ensuit que les routes en fer ne prennent qu'une étendue de terrain étroite et de peu de valeur ; ces routes sont en effet établies le plus solidement possible quand leur sol est maigre et sec : tandis que, soit pour diminuer la résistance de l'eau, soit pour augmenter le talus des berges, soit enfin pour pratiquer un chemin de halage au-dessus, les canaux exigent une largeur de 6 à 10 fois plus considérable que celle d'une route en fer. D'un autre côté, l'achat des terrains nécessaires entraîne d'autant plus de dépense que ces terrains sont plus productifs ; car afin d'obtenir la quantité d'eau dont on a besoin, il faut conduire les canaux à travers les terres et les prairies les plus basses et les plus fertiles. D'après un calcul très modéré, il est aisé de montrer que dans le cas où le poids des matières transportées annuellement ne dépasserait pas un millier de quintaux, le terrain occupé par un canal aurait produit plus de

céréales et de fourrages que n'auraient pu en consommer tous les chevaux de tirage qui auraient traversé le terrain pendant cet espace de temps.

5°. En comparant les chemins de fer aux canaux, on remarque que les frais de construction des premiers diminuent surtout en raison de leur moindre largeur; il faut, en effet, que les berges en remblais des canaux de navigation qui en sont les terrassemens les plus dispendieux, aient à leur sommet une largeur à peu près double de celle des chemins de fer, afin que l'on puisse établir le halage sur ces berges et en rendre l'épaisseur assez forte pour prévenir les filtrations à travers.

6°. L'établissement de rouages ou de chemins en fer donne lieu d'économiser les frais de construction des écluses, des réservoirs pour l'approvisionnement des eaux, et des aquéducs pour leur écoulement; quant aux ponts-canaux au-dessus des ruisseaux ou des vallées, ils deviennent tout-à-fait inutiles; et il suffit d'un léger appareil mobile sur les chemins de traverse. Il est d'ailleurs aisé de donner aux rouages ou barres de fer du chemin assez de force pour que les voitures des cultivateurs puissent passer transversalement par-dessus.

7°. Les petites ondulations d'un chemin de fer dans un plan vertical augmentent la fatigue des chevaux en un sens, et la diminuent dans l'autre;

ainsi elles ne doivent pas être prises en considération. D'un autre côté, on peut exiger des chevaux un travail forcé, quand, immédiatement après, on peut leur procurer du repos. C'est ce qui arrive dans les usines; et c'est d'après cette supposition qu'il faut assigner la force moyenne du cheval. En admettant ce principe d'expérience, le chemin à parcourir pourra être souvent considérablement raccourci; d'où l'on obtiendra l'accélération des transports et la diminution des frais de construction. Dans les canaux, au contraire, l'eau se maintenant toujours de niveau, il faut nécessairement ou contourner les montagnes ou les percer à grands frais.

Il résulte de tout ce qui précède, que les dépenses à faire pour ouvrir un canal dépassent au moins 3 fois celles d'un chemin de fer; c'est aussi ce que l'expérience confirme. En Angleterre, par exemple, une toise de chemin de fer revient à une livre sterling, tandis qu'une toise de canal revient à 4,5 livres sterling.

§ CI.

Il n'est pas difficile maintenant d'assigner les divers cas où la navigation est préférable aux chemins en fer, et réciproquement. A cet effet, soient

1°. La charge à transporter par année exprimée en quintaux . . . . $= F$;

2°. La dépense annuelle par mille d'un canal, tant pour les intérêts du capital employé à son exécution, que pour ses frais d'entretien . . . . $= A$;

3°. La dépense annuelle par mille d'un chemin de fer pour les intérêts du capital employé à son exécution, et pour ses frais d'entretien . . . . $= a$;

4°. La dépense moyenne d'un cheval de halage sur le canal, également évaluée par mille, et déduite du prix de l'entretien des hommes et des chevaux. . $= P$;

5°. La dépense d'un cheval par mille sur un chemin de fer . . . . $= p$.

Il est évident qu'on obtiendra le montant du péage à percevoir par quintal et par mille en divisant A par F; donc les frais de transport par quintal et par mille se monteront,

1°. Sur le canal à $P + \frac{A}{F}$;

2°. Sur le chemin de fer à $p + \frac{a}{F}$.

Egalant ces deux quantités, nous en tirerons

$$F = \frac{A - a}{p - P};$$

d'où l'on voit que la masse des chargemens annuels pour laquelle le canal et le chemin de fer présentent le même avantage, s'obtient en divisant la différence des dépenses annuelles sur un mille de distance, par la différence des frais de halage par quintal et par mille.

Supposons, pour donner un exemple, que la toise de canal revienne à 4 $\frac{1}{2}$ livres sterling; alors un mille d'Allemagne coûtera 18,000 livres sterling, et le tiers de cette somme représentera les frais d'établissement d'un chemin de fer de même longueur. Si nous évaluons maintenant l'entretien annuel et l'intérêt du capital employé à 10 pour 100 de ce capital, ce qui revient en nombre rond à un florin de *convention* par livre sterling, on aura

$$A = 18{,}000\ \textit{florins},$$

et

$$a = 6{,}000\ \textit{florins},$$

pendant les années auxquelles ces frais de construction se rapportent.

D'un autre côté on peut estimer l'entretien d'un cheval et des hommes de service sur un bateau à 4 florins par jour, et à 3 florins sur un chemin de fer, parce qu'on peut alors diminuer le nombre d'hommes.

Supposons que les bateaux et les voitures fassent 5 milles par jour, et que chaque cheval mène sur le canal 400 quintaux, on aura

$$P = \frac{4}{5.400} = \frac{1}{500};$$

on a d'ailleurs (§ XCVII)

$$p = \frac{3}{5.75} = \frac{4}{500};$$

donc

$$p - P = \frac{3}{500};$$

et à cause de $A - a = 12{,}000$,

$$F = \frac{A - a}{p - P} = 2{,}000{,}000 \textit{ quintaux.}$$

Pour que le canal en Angleterre présente le même avantage que le chemin de fer, il faut donc un transport annuel qui s'élève à 2 millions de quintaux.

Sur le canal entre Liverpool et Leeds, le transport annuel des denrées et marchandises est évalué à 6 millions de tonneaux du poids de 2000 liv. (*avoir du poids*), ce qui revient à plus de 10 millions de *quint.* de la Basse-Autriche; d'où l'on voit qu'à l'époque de sa construction, ce canal avait une supériorité décidée sur les chemins en fer du même pays.

Les frais de construction du canal et des écluses, entre Hohenfurt et Lintz, sur un développement de 5 milles, ont été évalués ci-dessus (§ LXXXIV) à 5 millions de florins. Si nous en déduisons 3 millions pour la valeur des écluses, et que nous pre-

nions le $\frac{1}{5}$ ou bien au plus les $\frac{2}{5}$ du reste pour représenter les frais d'un chemin en fer, ce dernier, d'après ce mode d'estimation, revient à 80,000 florins; comptant 10 pour 100 pour frais d'entretien et les intérêts, on aura par mille

$$A = 100{,}000,$$
$$a = 16{,}000.$$

Si nous supposons comme dessus $p - P = \frac{3}{500}$, on obtient

$$F = \frac{A - a}{p - P} = 14{,}000{,}000 \textit{ quintaux.}$$

Ainsi, il n'y a qu'un transport annuel de 14 millions de quintaux qui puisse abaisser le prix des transports sur le canal au même taux que sur un chemin en fer; et encore est-il important d'observer que pour obtenir dans ce cas un égal avantage, il ne faudrait dépenser que 800,000 florins sur un chemin en fer, tandis qu'il faudrait en dépenser 5 millions pour exécuter un canal.

§ CII.

Dans les exemples précédens, nous avons supposé que la charge d'un cheval sur un chemin horizontal en fer était de 75 quintaux; mais nous avons

vu que cette charge pouvait surpasser 900 quintaux. Tenons-nous-en à 300 quintaux, alors $P = \frac{4}{400}$ et $p = \frac{3}{300}$, d'où $P = p$; c'est-à-dire, que le prix du transport sera le même par le canal et par le chemin de fer; et cela aura toujours lieu lorsque la charge qu'un cheval pourra traîner sur un canal sera à la charge qu'il pourra traîner sur un chemin de fer, comme l'entretien journalier des chevaux et de leurs conducteurs sur la première de ces voies est au même entretien sur la seconde.

§ CIII.

Le calcul qui a servi à comparer entre eux un canal et un chemin de fer, peut également être employé à comparer un chemin de fer et une route ordinaire. Soient en effet

Sur le chemin de fer . . A = 8000 *florins;*
Sur une route ordinaire . a = 4000.
La charge d'un cheval sur
un chemin de fer . . . . . . = 300 *quint.*;
Sur une route ordinaire . = 20.

Il vient (§ CI)

$$p = \frac{3}{5.20},$$

$$P = \frac{3}{5.300};$$

donc

$$F = \frac{A - a}{p - P} = 142{,}857 \; \textit{quint.} \text{ par an},$$

ou environ 400 quintaux par jour. Si donc il ne se transportait pas journellement plus de 400 quintaux, il ne faudrait construire ni canal ni chemin en fer, mais simplement une route ordinaire.

§ CIV.

Jusqu'ici nous avons considéré les canaux, les chemins en fer et les routes ordinaires sous le seul point de vue de leur utilité commerciale, en tant que l'on peut obtenir par ces diverses voies la diminution des frais de transport. Toutefois dans l'établissement des canaux, on est encore déterminé par d'autres motifs, qui modifient les calculs précédens. C'est ainsi que le canal de Languedoc n'a pas tant été construit pour l'avantage du commerce que pour servir à faciliter les guerres avec l'Espagne. C'est ainsi que, dans des temps antérieurs, le général romain Drusus fit creuser par ses soldats le canal de l'Yssel en Hollande, afin de pouvoir combattre avec plus d'avantages les provinces septentrionales de la Germanie. La plupart des canaux des Pays-Bas ont pour objet le desséche-

ment de la contrée, et ne servent qu'accessoirement aux opérations commerciales; comme dans ces cas particuliers les marchandises transportées ne sont assujetties qu'à un léger péage pour subvenir aux frais de l'entreprise, le résultat du calcul devient alors favorable au transport par eau. Il n'y a qu'en Angleterre où les nouveaux canaux ont été creusés exclusivement pour le commerce; aussi leur a-t-on donné moins de largeur qu'aux anciens canaux, afin de diminuer les frais de leur exécution. Il faut considérer encore que ce pays n'a pas de montagnes aussi élevées que celles de la Bohême, ou même que celles de la plus grande partie de l'Europe. De sorte que sur une étendue de 1000 milles anglais il suffit de 1200 écluses, à raison de 5 ou 6 par mille d'Allemagne; tandis qu'entre Hohenfurt et Lintz il faudrait 62 écluses par mille. Le grand commerce qui se développe en Angleterre sur une petite surface, en rend toutes les routes extrêmement fréquentées; et comme la prospérité de cette nation est due surtout à son commerce maritime, il s'y manifeste une tendance naturelle pour la marine et une sorte de préférence de la navigation intérieure sur toute autre voie de communication. Là il est plus aisé de trouver des matelots et des bateaux que des charretiers et des voitures. Sous l'empire

de ces circonstances, on a commencé par établir des chemins en madriers et en barres de fer dans les localités où les canaux n'étaient pas praticables; plus tard on en est venu à construire des chemins en fonte, et à employer des roues à gorge également en fonte. Les mêmes circonstances expliquent pourquoi ces inventions n'ont pas atteint en Angleterre toute la perfection dont elles sont susceptibles. Des nouvelles récentes de ce pays nous apprennent cependant qu'on y établit des chemins en fer le long des canaux, afin de pouvoir se servir au besoin de l'une ou de l'autre voie.

§ CV.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer sur l'objet important de ce Mémoire, semblent offrir aux habitans des contrées montueuses assez de motifs de les consoler de ce que la nature ne leur a pas offert les mêmes facilités d'ouvrir des canaux qu'elle en fournit aux habitans des plaines et des pays situés le long des côtes de la mer; ils doivent être convaincus maintenant que, pour faire un commerce avantageux, il n'est pas indispensablement nécessaire de transformer la terre en eau, de percer à grands frais des montagnes, de suspendre

des ponts sur les fleuves et les vallées, en se proposant pour unique but le plaisir de voir des vaisseaux voguer à pleines voiles par-dessus des arbres de haute-futaie. On ne peut espérer que ces travaux extraordinaires, qu'on voudrait faire passer pour des monumens du génie du siècle, aient une plus longue durée que les aqueducs des Romains; et peut-être la postérité, en les laissant tomber en ruines, s'apercevra-t-elle que les avantages de semblables constructions ne balancent pas les frais de leur entretien.

On répond, il est vrai, à ces raisonnemens, que les dépenses faites pour l'exécution de ces grandes entreprises ne doivent pas être considérées comme perdues pour la nation qui les exécute, puisque l'argent dépensé reste dans le pays, qu'il est distribué entre les sujets d'un même état, et qu'il facilite ainsi la circulation si désirable des richesses. Sans nous arrêter à faire valoir tout ce que les contribuables seraient fondés à objecter contre de semblables opinions, nous nous bornerons à remarquer qu'il est du moins incontestable que le temps et le travail employés à des entreprises inutiles sont irrévocablement perdus. Après des guerres aussi longues et aussi désastreuses que celles qui ont désolé l'Europe dans ces derniers temps, ses divers états ont sans doute beaucoup de grands travaux à entreprendre. Par cela même, ils ont le plus

grand intérêt à employer la main des hommes avec économie. C'est au siècle où l'on exécutera beaucoup avec peu, et non pas à celui où l'on exécutera à grands frais des ouvrages sans utilité, que la postérité reconnaissante réserve une gloire durable.

§ CVI.

Le projet de communication de la Moldaw et du Danube, par l'exécution duquel le roi Charles IV voulait faire du siége de son gouvernement le centre du commerce germanique, a été célébré par tous les historiens de la Bohême comme un monument des vues bienfaisantes de ce monarque, non-seulement pour sa patrie, mais encore en faveur de toute l'Allemagne. Pendant quatre siècles, on n'a cessé de faire des vœux pour l'achèvement de cette entreprise. L'importance du sujet, et la privation que nous éprouvons de toute relation des divers projets qui ont été présentés depuis celui de Vogemonte, m'ont imposé l'obligation de publier ces recherches. Je m'y suis livré avec d'autant plus de zèle, que j'ai cru concourir par là à mettre un plus grand nombre des personnes en état de juger la matière, et à faire naître ainsi plus promptement l'occasion de diminuer le fardeau des peines de l'humanité, ce que je désire ardemment pour la prospérité de mon pays.

FIN.

TABLE DES ARTICLES.

FIN DE LA TABLE DES ARTICLES.

EXTRAIT DU CATALOGUE

DES

Livres de Fonds

QUI SE TROUVENT A LA LIBRAIRIE MATHÉMATIQUE ET DE L'INDUSTRIE

DE BACHELIER, SUCCESSEUR DE Mme. Ve. COURCIER.

Quai des Augustins, n°. 55, *à Paris.*

SEPTEMBRE 1826.

ALLIX, Lieutenant-Général. THÉORIE DE L'UNIVERS, ou de la cause primitive du Mouvement et de ses principaux effets, 2e. édit., 1 vol. in-8., 1818. 5 fr.

ANALYSE DE LA LUMIÈRE déduite des lois de la mécanique, 1 fort vol. in-8. avec planches, 1826. 9 fr.

ANNALES DE L'INDUSTRIE NATIONALE ET ÉTRANGÈRE, ou Mercure technologique, etc., 24 vol. jusqu'en 1825. 180 fr.
Le prix de l'abonnement, pour l'année, est de 30 fr. pour Paris et 36 fr. pour les départemens, et 42 fr. pour l'étranger; il paraît un numéro chaque mois.

ANNUAIRE présenté au Roi par le BUREAU DES LONGITUDES de France, pour l'an 1826, in-18. (Cet ouvrage paraît tous les ans.) 1 fr.

ARAGO ET BIOT. RECUEIL D'OBSERVATIONS. (*Voyez* BIOT.) 21 fr.

ARITHMÉTIQUE (L') des campagnes, à l'usage des Écoles primaires, etc., ouvrage adopté par l'Université, in-12 1 fr.

BABLOT. CALCUL DES PIEDS DE FER, suivant leur épaisseur et largeur, réduit au poids. *Nouv. édit.* augm. du tarif du poids du FER ROND, à l'usage des serruriers, architectes-toiseurs, qui sont souvent chargés de faire des devis et marchés concernant la serrurerie, à la suite duquel on trouvera des tarifs à tant la livre et à tant le cent, etc., et de plusieurs tables. 1 vol. in-12. 1821. 2 fr. 50 c.

BARRON. PRÉCIS DES PRATIQUES DE L'ART NAVAL EN FRANCE, en Espagne et en Angleterre, donnant, pour les trois marines, les termes techniques des commandemens et des vocabulaires en français, espagnol et anglais; des tables des dimensions de la mâture, les proportions de gréement, etc., pour chaque espèce de vaisseau de guerre ou de commerce; les manœuvres particulières, les évolutions, la description des pavillons de toutes les nations, etc., 1 vol. in-8., 1817. 6 fr. 50 c.

BAILLOT, Maître Teinturier à Paris. NOUVEAU MANUEL DU TEINTURIER, ou Guide pratique des apprentis et des ouvriers dans l'art de la Teinture, contenant les diverses recettes pour faire toutes sortes de couleurs sur laine, soie, fils et coton, etc., suivi de l'art du Teinturier-Dégraisseur par LE NORMAND, professeur de Technologie, in-12, 1819. 3 fr.

BAILLY. HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE ANCIENNE ET MODERNE, dans laquelle on a conservé littéralement le texte, en supprimant seulement les calculs abstraits, les notes hypothétiques, les digressions scientifiques, etc.; par V. C., 2 vol. in-8. 10 fr.

BARRUEL, ex-Professeur à l'École Polytechnique. TABLEAUX DE PHYSIQUE, ou Introduction à cette science, à l'usage des Élèves de l'École Polytechnique; nouv. edit., entièrement refondue et augmentée, grand in-4., cart., 1806. 10 fr.

BASTENAIRE-DAUDENART, ancien manufacturier, ex-propriétaire et directeur de la manufacture de porcelaine à fritte de Saint-Amand-les-Eaux. L'ART DE LA VITRIFICATION, ou TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE, THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA FABRICATION DU VERRE; ouvrage dans lequel sont décrits avec précision les divers procédés qu'on emploie pour se procurer toutes les espèces de verres et cristaux colorés, tant pour la formation des vases que pour les vitraux et les pierres imitant les pierres précieuses; ainsi que les manipulations relatives à cette branche importante de l'industrie française; suivi d'un Vocabulaire des mots [illegible] employés dans cet art, et d'un Tra[illegible]ure sur cristal et sur verre, 1 vol. in[illegible]planch. 1825. 7 fr.

BERLINGHIERI. EXAMEN DES OPÉRATIONS ET DES TRAVAUX DE CÉSAR AU SIÉGE D'ALÉZIA (œuvre posthume). Lucques, 1812. 3 fr. 50 c.

BERNOULLI (JACOBI). L'ART DE CONJECTURER à la Loterie, traduit du latin par *Vastel*, in-4. 7 fr. 50 c.

BERTHOUD. 1°. L'ART DE CONDUIRE ET DE RÉGLER LES PENDULES ET LES MONTRES, 4e. édit., augmentée d'une planche, et de la manière de tracer la ligne méridienne du temps moyen, 1811, vol. in-12, avec 5 pl. 2 fr. 50 c.

Dans ce petit Ouvrage, destiné aux personnes qui n'ont aucune connaissance en Horlogerie, on trouve une Notion du mécanisme d'une pendule et d'une montre; les causes des variations des montres; les règles à suivre pour gouverner soi-même ses montres et ses pendules; des Tables d'équation; la manière de tracer une méridienne; un cadran de montre indiquant l'équation du temps, etc.

2°. ESSAIS SUR L'HORLOGERIE, dans lequel on traite de cet Art relativement à l'usage civil, à l'Astronomie et à la Navigation, *suivi* des éclaircissemens sur l'invention, la théorie, la construction et les épreuves des nouvelles machines proposées en France pour la détermination des longitudes en mer par la mesure du temps, avec 38 planches, 2 vol. in-4. (rare.)

3°. HISTOIRES DE LA MESURE DU TEMPS par les Horloges. Paris, 1802, vol. in-4., avec 23 pl. gravées. 36 fr.

4°. TRAITÉ DES HORLOGES MARINES, contenant la théorie, la construction, la main-d'œuvre de ces machines, et la manière de les éprouver, suivi des éclaircissemens sur l'invention, la théorie, la construction et les épreuves des nouvelles machines proposées en France pour la détermination des longitudes en mer par la mesure du temps; un gros volume in-4., avec 27 planches, 1773. 24 fr.

5°. ÉCLAIRCISSEMENS sur l'invention, la théorie, la construction et les épreuves des nouvelles machines proposées en France pour la détermination des longitudes en mer par la mesure du temps, servant de suite à l'*Essai sur l'Horlogerie* et au *Traité des Horloges marines*; etc., vol. in-4. 6 fr.

6°. LES LONGITUDES PAR LA MESURE DU TEMPS, ou Méthode pour déterminer les longitudes en mer, avec le secours des horloges marines, suivie du Recueil des Tables nécessaires au pilote, pour réduire les observations relatives à la longitude et à la latitude, 1 vol. in-4. 9 fr.

7°. DE LA MESURE DU TEMPS, ou Supplément au Traité des horloges marines et à l'Essai sur l'horlogerie, contenant les principes de constructions, d'exécution et d'épreuves des petites horloges à longitudes portatives, et l'application des mêmes principes de construction, etc., aux montres de poche, ainsi que plusieurs constructions d'horloges astronomiques, etc., onze pl. en taille douce, 1 vol. in-4. 18 fr.

8°. TRAITÉ DES MONTRES A LONGITUDES, contenant la description et tous les détails de main-d'œuvre de ces machines, leurs dimensions, la manière de les éprouver, etc., suivi 1°. du Mémoire instructif sur le travail des montres à longitudes; 2°. de la description de deux Horloges astronomiques; 3°. de l'Essai sur une Méthode simple de conserver le rapport des poids et des mesures, et d'établir une mesure universelle et perpétuelle, avec sept planches en taille-douce.

9°. Suite du Traité des Montres à Longitudes, contenant la construction des Montres verticales portatives, et celle des Horloges horizontales, pour servir dans les plus longues traversées, un volume in-4., avec deux planches en taille-douce. *Prix de ces deux Ouvrages, réunis en un volume*, 24 fr.

10°. Supplément au Traité des Montres à Longitudes, suivi de la Notice des recherches de l'Auteur, depuis 1752 jusqu'en 1807. 12 fr.

Total de cette Collection; 191 fr. 50 c.

BEZOUT. COURS COMPLET DE MATHÉMATIQUES A L'USAGE DE LA MARINE, DE L'ARTILLERIE, et des Elèves de l'École Polytechnique, nouvelle édition, revue et augmentée par M. REYNAUD, Examinateur des Candidats de l'École Polytechnique; et M. DEROSSEL, ancien capitaine de vaisseau, Directeur adjoint du Dépôt général des Cartes, Plans et Archives de la Marine. 6 vol. in-8., avec *planches*.

On vend séparément,

— ARITHMÉTIQUE avec des notes fort étendues, et des Tables de Logarithmes jusqu'à 10,000, etc, par REYNAUD, dixième edition, 1823. 3 fr. 50 c.
Le texte pur se vend séparément, 2 fr.
Les notes seules, 2 fr. 50 c.

— GÉOMÉTRIE, avec des Notes fort étendues, par *le même*, troisième édit., 1824. 6 fr.
Le texte pur se vend séparément, 4 fr.
Les notes seules, 4 fr.

— ALGÈBRE et Application de cette science à l'Arithmétique et à la Géométrie, nouvelle édition, avec des notes, par *le même*, in-8., 1822. 6 fr.
Le texte pur se vend séparément, 4 fr.
Les Notes seules, 4 fr.

— MÉCANIQUE, nouvelle édition, 2 vol. in-8. 10 fr.

— TRAITÉ DE NAVIGATION, nouvelle édition, revue et augmentée de Notes, et d'une Section supplémentaire où l'on donne la manière de faire les Calculs des Observations avec de Nouvelles Tables qui les facilitent; par M. de Rossel, Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. 1 vol. in-8. avec 10 pl. 6 fr.

BIOT et ARAGO, Membres de l'académie des Sciences et du Bureau des Longitudes de France. RECUEIL D'OBSERVATIONS GÉODÉSIQUES, ASTRONOMIQUES ET PHYSIQUES, exécutées par ordre du Bu-

reau des Longitudes de France, en Espagne, en France, en Angleterre et en Écosse, pour déterminer la variation de la pesanteur et des degrés terrestres, sur le prolongement du méridien de Paris, faisant suite au troisième volume de la Base du système métrique? 1 vol. in-4, avec fig., 1821. 21 fr.

BIOT. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ASTRONOMIE PHYSIQUE, destiné à l'enseignement dans les Colléges, etc., 3 vol. in-8, 1810.

— PHYSIQUE MÉCANIQUE, par E. G. FISCHER, traduite de l'allemand avec des Notes et un Appendice sur les anneaux colorés, la double réfraction et la polarisation de la lumière, 3e. édition, revue et considérablement augmentée, 1 vol. in-8., avec planches, 1819. 6 fr.

— ESSAI DE GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE, appliquée aux courbes et aux surfaces du second ordre, in 8., 6e. édition, 1823. 6 fr. 50 c.

— TABLES BAROMÉTRIQUES portatives, donnant les différences de niveau par une simple soustraction, in-8. 1 fr. 50 c.

BOISGENETTE. CONSIDÉRATIONS SUR LA MARINE FRANÇAISE en 1818, et sur les dépenses de ce département, vol. in-8, 1818. 3 fr.

BOILEAU ET AUDIBERT. BARRÊME GÉNÉRAL, ou Comptes faits de tout ce qui concerne les nouveaux poids, mesures et monnaies de la France, suivi d'un Vocabulaire des différens poids, mesures et monnaies, tant français qu'étrangers, comparés avec ceux de Paris, 1 vol. de 489 pages in-8., 1823. 6 fr.

BORDA. TABLES TRIGONOMÉTRIQUES DÉCIMALES, ou Tables des Logarithmes des sinus, sécantes et tangentes, suivant la division du quart de cercle en cent degrés, et précédées de la Table des Logarithmes des nombres, etc, calculées par Ch. Borda, rev., augmentées et publiées par J-B-J. Delambre. Paris, an IX, in-4. 15 fr.

BORGNIS, Ingénieur et membre de plusieurs académies. TRAITÉ COMPLET DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS, contenant l'exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines; ouvrage divisé en *dix Traités* format in-4., avec 249 planches, dessinées par *Girard*, dessinateur à l'École Polytechnique, et gravées par *Adam*, 1818 à 1823. 206 fr.

Chaque Traité se vend séparément, ainsi qu'il suit:

I. *De la composition des machines*, contenant la classification, la description et l'examen comparatif des organes mécaniques; volume de plus de 450 pages, avec tableaux synoptiques et 43 planches donnant les figures de plus de 1200 organes de machines, 1818. 25 fr.

II. *Du mouvement des Fardeaux*, contenant la description et l'examen des machines les plus convenables pour transporter et élever toute espèce de fardeaux; volume de 334 pages et 20 planches gravées, 1818. 20 fr.

III. *Des machines que l'on emploie dans les constructions diverses*, ou Description des Machines dont on fait usage dans les quatre genres d'Architecture, civile, hydraulique, militaire et navale; vol. de 336 pag. avec 26 planches, 1818. 20 fr.

IV. *Des Machines hydrauliques*, ou Machines employées pour élever l'eau nécessaire aux besoins de la vie, aux usages de l'Agriculture, aux épuisemens temporaires et aux épuisemens dans les mines, volume in-4, avec 27 pl., 1819. 20 fr.

V. *Des Machines d'Agriculture*. Ce volume décrit les instrumens et machines aratoires, les machines employées à récolter les produits du sol et à leur donner les préparations premières, les moulins et les mécanismes qui servent à épurer le blé et à bluter les farines, et enfin les pressoirs, les cylindres, les pilons et autres machines employées à l'extraction des huiles et du vin, etc.; volume in-4. avec 28 planches, 1819. 21 fr.

VI. *Des Machines employées dans diverses fabrications*, contenant la description des machines en usage dans les grosses forges et dans les ateliers de métallurgie, dans les papeteries, dans les tanneries, etc.; vol. in-4., avec 27 pl., 1819. 21 fr.

VII. *Des Machines qui servent à confectionner les étoffes*, contenant la manière de préparer les matières filamenteuses, animales et végétales, l'examen comparatif des moyens mécaniques employés dans les filatures; la description des métiers avec leurs accessoires pour toutes espèces d'étoffes, depuis les plus simples jusqu'aux plus figurées; enfin, la manière de donner aux étoffes les derniers apprêts avant d'être livrées au commerce; vol. in 4, avec 44 pl., 1820. 30 fr.

VIII. *Des Machines qui imitent ou facilitent les fonctions vitales des corps animés*, suivi d'un appendice sur les machines de théâtres anciennes, et sur les procédés en usage dans les théâtres modernes, pour effectuer les changemens à vue, les vols directs et obliques et autres effets; vol. in-4., avec 27 pl., 1820. 21 fr.

IX. THÉORIE DE LA MÉCANIQUE USUELLE, ou Introduction à l'étude de la Mécanique appliquée aux arts, contenant les principes de Statique, de Dynamique, d'Hydrostatique et d'Hydrodynamique applicables aux Arts industriels; la théorie des moteurs, des effets utiles des machines, des organes mécaniques intermédiaires, et l'équilibre des supports, 1 vol. in-4., 1821. 15 fr.

X. DICTIONNAIRE DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS, contenant la définition et la description sommaire des objets les plus importans ou les plus usités qui se rapportent à cette science, avec l'énoncé de leurs propriétés essentielles, suivi d'indications qui facilitent la recherche des détails plus circonstanciés, in-4., 1823. 13 fr.

Son Excellence le Ministre de l'Intérieur

s'est fait rendre compte de ce ouvrage; et d'après le rapport favorable du Bureau consultatif des Arts et Métiers *près son ministère, il a ordonné qu'il en serait acheté un nombre d'exemplaires aux frais du Gouvernement, pour être distribués aux écoles d'application et de service public.*

— TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE CONSTRUCTION APPLIQUÉE A L'ARCHITECTURE CIVILE, contenant les principes qui doivent diriger, 1°. le choix et la préparation des matériaux; 2°. la configuration et les proportions des parties qui constituent les édifices en général; 3°. l'exécution des plans déjà fixés, suivi de nombreuses applications puisées dans les plus célèbres monumens antiques et modernes, etc., in-4. d'environ 650 pages, et Atlas de 30 planches, gravées par Adam, 1823. 36 fr.

BOUCHARLAT, Professeur de Mathématiques transcendantes aux Écoles militaires, Docteur des Sciences, etc. THÉORIE DES COURBES ET DES SURFACES du second ordre, précédée des principes fondamentaux de la Géométrie analytique; seconde édition in-8. 6 fr.

— ÉLÉMENS DE CALCUL DIFFÉRENTIEL ET DE CALCUL INTÉGRAL, 3e édition, revue et augmentée, in-8., avec planches, 1826. 6 fr.

— ÉLÉMENS DE MÉCANIQUE, in-8., avec planches, 1815. 6 fr.

BONNEFOUX, capitaine de frégate, sous-gouverneur du Collège royal de Marine d'Angoulême, SÉANCES NAUTIQUES, ou Exposé des diverses manœuvres du Vaisseau, in-8, 1824, fig. 5 fr.

BOURDE-DE-VILLEHUET, LE MANOEUVRIER, ou Essai sur la Théorie et la Pratique des mouvemens du navire et des évolution navales; nouv. édit., augmentée, 1°. d'un Appendice du même auteur, contenant les principes fondamentaux de l'arrimage des vaisseaux, suivi d'un mémoire sur le même sujet, par Groignard, ingénieur-constructeur; 2e. des nouvelles Manœuvres du canon, à bord des vaisseaux du Roi, et du Mode d'exercice pour les officiers et les équipages; 1 fort vol. in-8. gr. pap. carré fin, avec 11 pl. grav. en taille-douce, 1814. 6 fr.

— PRINCIPES FONDAMENTAUX de l'arrimage des vaisseaux. (*Extrait du Manœuvrier*), in-8. avec 3 planches. 3 fr.

BOURDON, *Inspecteur de l'Académie de Paris*. ÉLÉMENS D'ARITHMÉTIQUE, 1 vol. in-8., 3e. édit., 1825, *Ouvrage adopté par l'Université*, 5 fr.

— ÉLÉMENS D'ALGÈBRE, 4e édit. considérablement augmentée, 1 fort vol. in-8., 1825, *Ouvrage adopté par l'Université*. 7 fr.

— TRAITÉ DE TRIGONOMÉTRIE ET D'APPLICATION DE L'ALGÈBRE A LA GÉOMÉTRIE à deux et à trois dimensions, 1 fort vol. in-8. avec 15 planches, *Ouvrage adopté par l'Université*, 1825, 7 fr. 50 c.

BRESSON. DES FONDS PUBLICS français et étrangers, et des Opérations de la Bourse de Paris, ou Recueil contenant, 1°. le détail sur les rentes 3 pour cent, 4 et demi pour cent et 5 pour cent consolidés, sur les Canaux; 2°. des notions exactes sur tous les fonds étrangers; 3°. les diverses manières de spéculer, etc.; 5e. édition, revue et augmentée, conformément aux affaires actuelles de la Bourse, in-12, 1825. 3 fr. 50 c.

BRIANCHON, Capitaine d'artillerie. APPLICATION DE LA THÉORIE DES TRANSVERSALES. Cours d'opérations géom. sur le terrain, etc., 1818, in-8. 1 fr. 80 c.

— MÉMOIRE sur les lignes du second ordre 1817, in-8. 2 fr.

BUQUOY. (Comte de) Exposition d'un nouveau Principe général de DYNAMIQUE, dont le principe des Vitesses virtuelles n'est qu'un cas particulier; lu à l'Institut de France le 28 août 1815. in-4. 2 fr.

BURCKHARDT, Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes de France. TABLE DES DIVISEURS POUR TOUS LES NOMBRES DU 1er., 2e. ET 3e. MILLION, avec les nombres premiers qui s'y trouvent, grand in-4., pap. vélin, 1817. 36 fr.

Chaque million se vend séparément, savoir: le 1er. million, 15 fr., et le 2e. et le 3e. chacun 12 fr. 36 fr.

CAGNOLI. TRAITÉ DE TRIGONOMÉTRIE, traduit de l'italien, par M. Chompré, 2e. édition, in-4., 1808. 18 fr.

CALLET. Tables de Logarithmes, édition stéréotype, in 8. 15 fr.

CAMUS DE MÉZIÈRES. TRAITÉ SUR LA FORCE DES BOIS DE CHARPENTE, ouvrage essentiel pour ceux qui *veulent bâtir*, et qui donne les moyens de procurer plus de solidité aux édifices, de *connaître la bonne* et la mauvaise qualité des Bois, de calculer leur force, etc., in-8. 6 fr.

CANARD. Professeur de Mathématiques transcendantes au Lycée de Moulin. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DU CALCUL DES INÉQUATIONS, in 8. 1808. 6 fr.

CARNOT, Général, Membre de l'Institut et de la Légion-d'Honneur, etc. DE LA DÉFENSE DES PLACES FORTES. Ouvrage composé pour l'instruction des Élèves du Corps du Génie, troisième édition, revue et considérablement augmentée, avec 11 pl. supérieurement gravées, 1 vol. in-4., 1812. 25 fr.

Le même Ouvrage, deuxième édit., sans planch., in-8., 1811. 6 fr.

— MÉMOIRE SUR LA FORTIFICATION primitive, pour servir de suite au Traité sur la défense des Places fortes, in-4., fig., 1823. 6 fr.

— GÉOMÉTRIE DE POSITION, in-4. papier vélin, 1803, 18 fr.

Le même Ouvrage, grand pap. vél 36 fr.

— MÉMOIRE SUR LA RELATION qui existe entre les distances respectives de cinq points quelconques pris dans l'espace; suivi d'un ESSAI SUR LA THÉORIE DES TRANSVERSALES, in-4, 1806. 5 fr.

— DE LA CORRÉLATION DES FIGURES DE GÉOMÉTRIE, an 9, in-8., gr. pap. 3 fr.

— RÉFLEXIONS SUR LA MÉTAPHYSIQUE

DU CALCUL INFINITÉSIMAL, in-8., fig, nouv. édit., revue et augmentée, 1813. 3 fr. 50 c.

CARNOT. PRINCIPES DE L'ÉQUILIBRE et du Mouvement, in-8., 1803. 5 fr.

CHORON, correspondant de l'Institut, etc. MÉTHODE ÉLÉMENTAIRE DE COMPOSITION, où les préceptes sont soutenus, d'un grand nombre d'exemples très-clairs et fort étendus, et à l'aide de laquelle on peut apprendre soi-même A COMPOSER TOUTE ESPÈCE DE MUSIQUE, traduite de l'allemand de Albrechtsberger (J. Georg.), Organiste de la Cour de Vienne, Maître de Chapelle, etc., et enrichie d'une introduction et d'un grand nombre de notes, par A. Choron, 2 vol. in-8., dont un de Musique 1814. 12 fr.

CHRISTIAN, Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers. TRAITÉ DE MÉCANIQUE INDUSTRIELLE, ou Exposé de la science de la Mécanique, déduite de l'expérience et de l'observation, principalement à l'usage des manufacturiers et des artistes; 3 vol. in-4., et Atlas de 60 pl. doubles. 75 fr.

CLAIRAUT. ÉLÉMENS D'ALGÈBRE, 6. édit., avec des Notes et des Additions très-étendues, par M. Garnier; précédés d'un Traité d'Arithmétique par Théveneau, et une Instruction sur les nouveaux poids et mesures, 2 vol. in-8., 1801, 10 fr.

— THÉORIE DE LA FIGURE DE LA TERRE, tirée des principes de l'Hydrostatique, in-8, deux. édit., 1808 10 fr

CLOQUET (J.-B.), ex-Professeur de Dessin à l'École des Mines et à celle de la Brigade topographique au Dépôt des fortifications NOUVEAU TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PERSPECTIVE à l'usage des artistes et des personnes qui s'occupent du Dessin, précédé des premières notions de la Géométrie élémentaire, de la Géométrie descriptive, de l'Optique et de la projection des ombres. 1 vol. in-4., et atlas de 84 pl., dont plusieurs coloriées, 1823. 30 fr.

CONDORCET. MOYENS FACILES D'APPRENDRE A COMPTER avec facilité; deux. édit., in-12. 1 fr. 25 c.

• CONNAISSANCE DES TEMPS A L'USAGE DES ASTRONOMES ET DES NAVIGATEURS, publiée par le Bureau des Longitudes de France, pour les années 1827, 1828 et 1829.

Prix de chaque année avec Additions, 6 fr., et sans Additions 4 fr.

On peut se procurer la Collection complète, ou des années séparées de cet Ouvrage, depuis 1761 jusqu'à ce jour.

COTTE. TABLE DES MATIÈRES contenues dans les Mémoires de l'Académie, pour les années 1781 à 1790, tome X. 15 fr.

COULOMB, Membre de l'Institut de France. THÉORIE DES MACHINES SIMPLES, en ayant égard au frottement de leurs parties et à la raideur des cordages. *nouvelle édit.*, à laquelle on a ajouté les Mémoires suivans du même auteur; — sur les frottemens de la pointe des pivots; — Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de métal; — Résultats de plusieurs expériences destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces; — Observations théoriques et expérimentales sur l'effet des moulins à vent et sur la figure de leurs ailes; — sur les murs de revêtement et l'équilibre des voûtes, etc. vol. in-4., avec 10 pl., 1821. 15 fr.

COULOMB. RECHERCHES SUR LES MOYENS d'exécuter sous l'eau toutes sortes sortes de travaux hydrauliques sans employer aucun épuisement, in-8., avec planches, 3ᵉ. édit. 1 fr 80 c.

COUSIN. Traité du CALCUL DIFFERENCIEL ET INTÉGRAL, 2 vol. in-4, 6 pl. 21 fr.

— Traité élém. de l'ANALYSE MATHÉMATIQUE ou d'ALGÈBRE, in-8. 4 fr.

DABREU. PRINCIPES MATHÉMATIQUES de feu Joseph-Anastase de Cunha, professeur à l'université de Coïmbre (comprenant ceux de l'Arithmétique, de la Géométrie, de l'Algèbre, de son Applicat. à la Géométrie, et du Calcul différentiel et intégral, traités d'une manière entièrement nouvelle), trad. littéral. du Portugais, in-8, 1816. 6 fr.

DARCET, LELIÈVRE et PELLETIER. DESCRIPTION de divers procédés pour extraire la soude du sel marin, v. in-4. avec 11 pl., représentant d'une manière très-détaillée les plans et élévations des ateliers de soudières, les fours, fourneaux et instrumens nécessaires à la manipulation de la soude. 6 fr.

DAUBUISSON. MÉMOIRE SUR LES BASALTES DE LA SAXE, accompagné d'Observations sur l'origine des Basaltes en général, lu à la Classe des Sciences physiques et mathématiques de l'Institut national, an 11, in-8. 2 fr 50 c.

DE CESSART. DESCRIPTION DES TRAVAUX HYDRAULIQUES, 2 vol. in-4., 67 pl. 84 fr.

DELAISTRE. Science des ingénieurs, divisée en trois livres, où l'on traite des Chemins, des Ponts, des Canaux et des Aqueducs, 2 vol. in-4., avec un vol. de planches, 1825. 40 fr.

DELAMBRE, Secrétaire perpétuel de l'Institut, membre de la Légion d'Honneur, professeur d'astronomie au collège royal de France, etc. TRAITÉ COMPLET D'ASTRONOMIE THÉORIQUE ET PRATIQUE, 3 vol. in-4., avec 29 pl., 1814 60 fr.

— Abrégé du même Ouvrage, ou LEÇONS ÉLÉMENTAIRES D'ASTRONOMIE théorique et pratique données au collége de France, 1 v. in-8., avec 17 pl., 1813 12 fr.

— HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE ANCIENNE, 2 vol. in-4., avec 17 pl., 1817. 40 fr.

— HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE DU MOYEN AGE, 1 vol. in-4., 1819, avec 17 pl. en taille-douce. 25 fr.

— HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE MO-

DERNE, 2 vol. in-4, avec 17 pl, 1821. 50 fr.

DELAMBRE. HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE DU XVIII[e]. SIÈCLE, in-4 1826. 30 fr.

DELAMBRE et LEGENDRE. Méthode analytique pour la DÉTERMINATION D'UN ARC DU MÉRIDIEN, in-4., an 7. 9 fr.

DELAMÉTHERIE, professeur au collége de France, ancien rédacteur du Journal de physique, etc. CONSIDÉRATIONS SUR LES ÊTRES ORGANISÉS, 2 vol. in-8. 12 fr.

— DE LA PERFECTIBILITÉ ET DE LA DÉGÉNÉRESCENCE DES ÊTRES ORGANISÉS, formant le tome III des Considérations sur les êtres organisés, 1 vol. in-8. 6 fr.

— DE LA NATURE DES ÊTRES EXISTANS, ou Principes de la philosophie naturelle, 1 vol. in-8. 6 fr.

— LEÇONS DE MINÉRALOGIE données au collége de France, 2 vol. in 8., 1812. 14 fr.

DELAU. DÉCOUVERTE DE L'UNITÉ et généralité de principe, d'idée et d'exposition de la science des nombres, son application positive et régulière à l'algèbre, à la géométrie, et surtout à la pratique, aux développemens et à l'extension du précieux système décimal. Calculs théori-pratiques, 1809, 1 vol. in-8. 3 fr.

DELUC. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE GÉOLOGIE, in-8, 1809. 5 fr.

DEMONFERRAND, Professeur de Mathématiques et de Physique au Collége de Versailles. MANUEL D'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE, ou Traité sur l'action mutuelle des conducteurs électriques et des aimans, et sur la nouvelle théorie du magnétisme, pour faire suite à tous les Traités de Physique élémentaire, in-8., 1823, avec 5 planches. 4 fr.

DEPRASSE, *professeur de mathématiques à Berlin*. TABLES LOGARITHMIQUES pour les nombres, les sinus et les tangentes, disposées dans un nouvel ordre, corrigées et précédées d'une Introduction, traduites de l'allemand et accompagnées de notes et d'un avertissement, par *Halma*, 1814, in-18. 1 fr.

DEVELEY, professeur de mathématiques, etc. APPLICATION DE L'ALGÈBRE A LA GÉOMÉTRIE, in-4., nouvelle édit., 1824. 14 fr.

— ÉLÉMENS DE GÉOMÉTRIE, 1 vol. in-8. 6 fr.

DIONIS-DU-SÉJOUR. TRAITÉ DES MOUVEMENS APPARENS DES CORPS CÉLESTES, 2 vol. in-4. 40 fr.

DOUGLAS, (*général sir* HOWARD.) TRAITÉ D'ARTILLERIE NAVALE, contenant un exposé succinct de la théorie du Pendule balistique et des Expériences de Hutton, les principes fondamentaux de l'Artillerie, appliqués particulièrement à l'Artillerie navale; l'Exercice des bouches à feu à bord des vaisseaux français; la Composition de la Poudre; la Théorie du Tir à la mer; les Tables de portées des canons et des caronades, et des Observations sur la tactique des combats singuliers; traduit de l'anglais (avec des notes) par M. CHARPENTIER, ancien élève de l'École polytechnique, Capitaine au corps royal de l'Artillerie de Marine, Chevalier de l'ordre royal de la Légion-d'Honneur, 1 vol. in-8., avec 5 planches, 1826. 7 fr.

DUBOURGUET, ancien officier de marine, professeur de mathématiques au collége Louis-le-Grand. TRAITÉS ÉLÉMENTAIRES DE CALCUL DIFFÉRENTIEL ET DE CALCUL INTÉGRAL, indépendans de toutes notions de quantités infinitésimales et de limites; ouvrage mis à la portée des commençans, et où se trouvent plusieurs nouvelles théories et méthodes fort simplifiées d'intégrations, avec des applications utiles aux progrès des sciences exactes, 2 v. in-8. *Paris*, 1810 et 1811. 16 fr.

— TRAITÉ DE LA NAVIGATION, ouvrage approuvé par l'Institut de France, et mis à la portée DE TOUS LES NAVIGATEURS, in-4., 1808, avec fig. 20 fr.

DUBRUNFAUT, *Membre de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, etc. TRAITÉ COMPLET DE L'ART DE LA DISTILLATION, contenant, dans un ordre méthodique, les instructions théoriques et pratiques les plus exactes et les plus nouvelles sur la préparation des liqueurs alcoholiques avec les raisins, les grains, les pommes-de-terre, les fécules et tous les végétaux sucrés ou farineux, 2 vol. in-8., fig., 1824. 10 fr. 50 c.

DUBRUNFAUT. ART DE FABRIQUER LE SUCRE DE BETTERAVES, contenant: 1°. la description des meilleures méthodes usitées pour la culture et la conservation de cette racine; 2°. l'exposition *détaillée* des procédés et appareils utiles pour en extraire le sucre avec de grands avantages. *Suivi* d'un essai d'analyse chimique de la betterave, propre à éclairer la théorie des opérations qui ont pour objet d'en séparer la matière sucrée; 1 vol. in-8; avec pl., 1825. 7 fr. 50 c.

DUCOUEDIC. LA RUCHE PYRAMIDALE, méthode simple et naturelle pour rendre perpétuelles les peuplades d'abeilles, et obtenir de chaque peuplade, à chaque automne, la récolte d'un panier plein de cire et de miel, sans mouches, sans couvains, outre plusieurs essaims, avec l'art de rétablir et d'utiliser, au retour de l'été, les ruches des essaims dont les peuplades auraient péri en automne, dans l'hiver ou au printemps, en faisant éclore les œufs restés dans les alvéoles; et l'Art de convertir le miel en sucre blanc inodore, de faire l'hydromel, des sirops, etc., ouvrage utile aux habitans des campagnes; deux édit., considérablement augmentée, et ornée d'une gravure, 1 vol in-8, 1813. 3 f.

DUCREST. VUES NOUVELLES SUR LES COURANS D'EAU, la navigation intérieure et la marine, 1 vol. in-8., 1803. 5 f.

DUPIN (Ch.), *membre de l'Institut*. VOYAGES DANS LA GRANDE BRETAGNE entrepris relativement aux services publics de la guerre, de la marine et des ponts et chaussées, en 1816, 1817, 1818, 1819, 1820 et 1821, présentant le tableau des institutions et des établissemens qui se rapportent à

I. la Force militaire ;
II. la Force navale ;
III. aux Travaux civils des ports de commerce, des routes, des ponts et des canaux ; 1re. SECTION.
IV. Force productive.
Chaque partie se vend séparément.
Ire. partie, FORCE MILITAIRE, 2 vol. in-4. et atlas 2e. édit , 1825. 25 fr.
IIe. partie, FORCE NAVALE, 2 vol. in-4. et atlas. 2e. édit. , 1825. 25 fr.
IIIe. partie, FORCE COMMERCIALE, 1re. SECTION, 2e. édit. TRAVAUX CIVILS DES PONTS ET CHAUSSÉES, 2 vol. in-4., et atlas, 1824. 27 fr.
IVe. partie. FORCE COMMERCIALE EXTÉRIEURE, 2e. SECTION, paraîtra dans le courant de 1827.

DUPIN. DISCOURS ET LEÇONS SUR L'INDUSTRIE, le Commerce, la Marine, et sur les Sciences appliquées aux Arts, 2 vol. in-8 , 1825. 10 f. 50 c.
— DÉVELOPPEMENS DE GÉOMÉTRIE, 1 vol. in-4°. 1813. 15 fr
— APPLICATIONS DE GÉOMÉTRIE ET DE MÉCHANIQUE A LA MARINE, aux Ponts et Chaussées, etc. in-4. , 1822. 15 fr
— GÉOMÉTRIE ET MÉCANIQUE DES ARTS ET DES BEAUX-ARTS, COURS NORMAL à l'usage des ouvriers et des artistes, des sous-chefs et des chefs d'ateliers et de manufactures. professé au Conservatoire royal des Arts et Métiers par l'auteur ; 3 vol. in-8. 18 fr. et 24 fr. franc de port.
1er. *volume*. GÉOMÉTRIE, ou des Formes nécessaires à l'Industrie. 6 fr.
2me. *volume*. MACHINES ÉLÉMENTAIRES nécessaires à l'Industrie. 6 fr.
3me. *volume*. FORCES MOTRICES nécessaires à l'Industrie. 6 fr.
— ESSAI HISTORIQUE sur les services et les travaux scientifiques de G. Monge, etc., in-8, 1819. 4 fr. 50 c.
— *Le même*, in-4. avec portrait parfaitement ressemblant. 7 fr. 50 c.
— ESSAIS SUR DÉMOSTHÈNES et sur son éloquence, contenant une traduction des Harangues pour Olynthe, avec le texte en regard ; des considérations sur les beautés des pensées et du style de l'Orateur athénien, in-8., 1814. 4 fr.
— LETTRE A MILADY MORGAN, sur Shakespeare, in-8., 1818. 2 fr. 50 c.
— SYSTÊME de l'administration britannique en 1822, considérée sous les rapports des finances, de l'industrie, du commerce et de la navigation, d'après un exposé ministériel, in-8. , 1822. 3 fr.
— OBSERVATIONS sur la puissance de l'Angleterre et sur celle de la Russie au sujet du parallèle établi par M. De Pradt entre ces puissances, deuxième édition, in-8., 1824, 1 fr. 50 c.

DUPUIS. MÉMOIRE EXPLICATIF DU ZODIAQUE chronologique et mythologique, ouvrage contenant le tableau comparatif des maisons de la lune chez les différens peuples de l'Orient, et celui des plus anciennes observations qui s'y lient, d'après les Égyptiens, les Chinois, les Perses, les Arabes, les Chaldéens et les Calendriers grecs, in-4., 1806. 6 fr.

DUVERNE, voyez TREDGOLD.

ÉCOLE DE LA MINIATURE, ou l'Art d'apprendre à peindre sans maître, nouvelle édition revue, corrigée et augmentée. 1 vol. in-12, fig. 1816. 3 fr.

* ÉPURES A L'USAGE DE L'ÉCOLE ROYALE POLYTECHNIQUE, contenant 102 planches gravées in-fol., (sans texte) , sur la géométrie descriptive, la charpente, la coupe des pierres, la perspective et les ombres. Prix en feuilles, 24 fr.

EUCLIDE. OEUVRES EN GREC, LATIN ET FRANÇAIS, d'après un manuscrit très-ancien, qui était resté inconnu jusqu'à nos jours ; par Peyrard, traducteur des OEuvres d'Archimède, ouvrage approuvé par l'Académie des sciences ; 3 vol. in-4., 1814, 1817 et 1818. 90 fr.
Les mêmes, papier vélin. 120 fr.
Les mêmes, tirés sur papier grand-raisin fin, 120 fr.
Les mêmes, sur papier grand-raisin vélin. 180 fr.
Il ne reste plus que quelques exemplaires de ces trois derniers papiers.

EULER. ÉLÉMENS D'ALGÈBRE, nouvelle édit , 1807, 2 vol in-8. 12 fr.
La première partie contient l'analyse déterminée, revue et augmentée de notes par M. Garnier. La deuxième partie contient l'analyse indéterminée, revue et augmentée de notes par M. Lagrange, sénateur, membre de l'Institut, etc.
— LETTRES à une Princesse d'Allemagne, sur divers sujets de PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE. Nouv. édit., conforme à l'édition originale de Saint-Pétersbourg, revue et augmentée de l'ÉLOGE D'EULER par *Condorcet*, et de diverses Notes par *M. Labey*, docteur ès-Sciences de l'Université, Instituteur à l'Ecole Polytechnique, etc. , 2 forts vol. in-8. de 1180 pag , imprimés en caractère neuf dit *Cicéro gros-œil*, et sur papier carré fin avec le portrait de l'auteur, 1812, broch. 15 fr.

EVANS (OLIVER). MANUEL DE L'INGÉNIEUR MÉCANICIEN, Constructeur de machines à vapeur, traduit de l'anglais par Doolittle, in-8., avec 7 pl., 2e. édit , 1825. 5 fr.

EXERCICES et Manœuvres du canon à bord des vaisseaux du Roi, et Règlement sur le mode d'exercice des officiers et des équipages ; nouvelle édition, augmentée de Nouvelles Manœuvres des deux bords, et de plusieurs Tables de Pointage, extraites de Churucca, par un officier de marine, Willaumez) ; 1 vol. in-8., 1815 2 fr.

FAVIER, *Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées*. EXAMEN DES CONDITIONS DU MODE D'ADJUDICATION DES TRAVAUX PUBLICS, suivi de Considérations sur l'emploi de ce mode et de celui de régie, br. in-8., 1824. 1 fr. 50 c.

FISCHER, Membre honoraire de l'Académie des Sciences de Berlin, etc PHYSIQUE MÉCANIQUE, traduite de l'allemand, avec des Notes et un Appendice sur les anneaux colorés, la double réfraction et la polarisation

de la lumière, par M. BIOT, membre de l'Institut, trois. edit., revue et considérablement augmentée, 1 vol. in-8., avec pl., 1819. 6 fr.

FORFAIT. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE LA MATURE DES VAISSEAUX, à l'usage des élèves de la Marine; *seconde édit.*; augmentée d'un grand nombre de Notes et de Tables; par M. Villaumez, capitaine de vaisseau, suivi d'un Appendice contenant un Memoire sur le Système de construction des Mâts d'assemblage en usage dans les Ports de Hollande, et sur les Modifications que l'on propose d'y apporter; par M. Rolland, inspecteur-adjoint du Génie maritime; 1 vol. in-4., avec 25 pl., 1825. 18 fr.

FOURCROY. TABLEAUX SYNOPTIQUES DE CHIMIE, in-fol. cart. 9 fr.

FRANCOEUR Professeur de la Faculté des Sciences de Paris, ex-Examinateur des Candidats de l'École Polytechnique, etc. URANOGRAPHIE, ou Traité élémentaire d'Astronomie, à l'usage des personnes peu versées dans les mathématiques, des Géographes, des Marins, des Ingénieurs, accompagnée de planisphères, troisième édition, revue et considérablement augm., 1 vol. in-8., 1821, avec planches 9 fr.

— TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE MÉCANIQUE, cinquième édition, in-8. 1825. 7 fr. 50 c.

— ÉLÉMENS DE STATIQUE, in 8. 3 fr.

— COURS COMPLET DE MATHÉMATIQUE PURES, dédié à S. M. Alexandre Ier, Empereur de toutes les Russies; Ouvrage destiné aux Élèves des Écoles Normale et Polytechnique, et aux Candidats qui se disposent à y être admis, 2e. édit., revue et considérabl. augm., 2 vol. in-8., avec pl., 1819. 15 fr.

FRAY, Commissaire-Ordonnateur des Guerres, Membre de la Légion-d'Honneur, etc. ESSAI SUR L'ORIGINE DES CORPS ORGANISÉS ET INORGANISÉS, et sur quelques phénomènes de Physiologie animale et végétale, 1 vol in-8, 1817. 5 fr.

GARNIER. TRAITÉ D'ARITHMÉTIQUE, à l'usage des Élèves de tout âge, 2e. édit.; in-8., 1808. 2 fr. 50 c.

— ÉLÉMENS D'ALGÈBRE à l'usage des Aspirans à l'École Polytechnique, 3e. édit., in-8., revue, et augmentée, 1811. 6 fr.

— Suite de ces Élémens, 2e. partie. ANALYSE ALGÉBRIQUE, nouvelle edition considérablement augmentée; in-8., 1814. 7 fr.

— GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE, ou application de l'Algèbre à la Géométrie, seconde édition, revue et augm, 1 vol. in-8 avec 14 pl., 1813. 6 fr.

— LES RÉCIPROQUES de la Géométrie, suivi d'un Recueil de Problèmes et de Théorèmes, et de la construction des Tables trigonométriques, in-8., 2e. édition, considérablement augmentée, 1810.

— ÉLÉMENS DE GÉOMÉTRIE, contenant les deux Trigonométries, les élémens de la Polygonométrie et du levé des Plans, et l'Introduction à la Géométrie descriptive, 1 vol. in-8 avec pl., 1812. 5 fr.

GARNIER. LEÇON DE STATIQUE à l'usage des Aspirans à l'École Polytechnique, 1 vol. in-8. avec douze pl., 1811. 5 fr.

— LEÇONS DE CALCUL DIFFÉRENTIEL, 3e. édit., 1 vol in-8. avec 4 pl., 1811. 8 fr.

GARNIER. LEÇONS DE CALCUL INTÉGRAL, 1 vol. in-8 avec deux pl., 1812 7 fr.

— TRISECTION DE L'ANGLE, suivie de Recherches analytiques sur le même sujet, in-8, 1809. 2 fr. 50 c.

— DISCUSSION DES RACINES des Équations déterminées du premier degré à plusieurs inconnues, et élimination entre deux équations de degrés quelconques à deux inconnues, 2e. edit., 1 vol. in-8. 1 fr 80 c.

GARNIER. *Ingénieur des Mines, ancien Élève de l'École Polytechnique.* TRAITÉ SUR LES PUITS ARTÉSIENS, ou sur les différentes espèces de Terrains dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines. Ouvrage contenant la description des procédés qu'il faut employer pour ramener une partie de ces eaux à la surface du sol, à l'aide de la sonde du mineur ou du fontainier; seconde edition, revue et augmentée, avec 23 planches, in 4, 1826. 16 fr.

GALLON. Recueil de Machines approuvées par l'Academie, 7 vol. in 4., avec 935 planches. 150 fr.

— Le 7e volume se vend séparément. 36 fr.

GAUSS. RECHERCHES ARITHMÉTIQUES, traduites par M. Poulet-Delisle, Élève de l'École Polytechnique et Professeur de Mathématiques à Orléans, 1 vol. in-4., 1807. 18 fr.

GICQUEL-DESTOUCHES, Capitaine de Vaisseau. TABLES COMPARATIVES des principales Dimensions des Bâtimens de guerre français et anglais de tous rangs, de leur Mâture, Grément, Artillerie, etc., d'après les derniers règlemens, avec plusieurs autres Tables relatives à un Système de mâture proposé comme plus convenable que celui actuel, aux bâtimens de guerre français; ouvrage utile aux officiers de la Marine royale, in-4. 9 fr.

GILBERT, Ingénieur de Marine. ESSAI SUR L'ART DE LA NAVIGATION PAR LA VAPEUR, 1 vol. in-4. avec trois grandes planches, 1820, 5 fr.

GIRARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du Canal de l'Ourcq et des eaux de Paris, etc. RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'EAU ET LE VENT, considérés comme forces motrices applicables aux moulins et autres machines à mouvement circulaire, traduit de l'anglais de *Smeaton*, in 4., avec planches 9 fr.

— DEVIS GÉNÉRAL DU CANAL DE L'OURCQ, 2e édition, in-4., avec une grande carte, 1820. 6 fr.

GOUDIN (OEuvres de M. B.), contenant un Traité sur les PROPRIÉTÉS COMMUNES A TOUTES LES COURBES, un Mémoire sur les ECLIPSES DE SOLEIL, nouv. edit., in-4 7 fr 50 c.

HACHETTE, ex-Professeur à l'École Polytechnique PROGRAMMES D'UN COURS DE PHYSIQUE, ou Précis des leçons sur

les principaux phénomènes de la nature, et sur quelques applications des Mathématiques à la Physique, in-8., 1809. 5 fr. 50 c.

HACHETTE. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DES MACHINES, nouvelle édit. considérabl. augmentée, 1 vol. in-4, avec 32 planches, 1819. 25 fr

— Correspondance de l'École de Polytechnique. tome III, 3e. no. 4 fr.

HAGEAU, inspecteur divisionnaire au corps des ponts et chaussées. DESCRIPTION du canal de jonction de la Meuse au Rhin, etc.; 1819, 1 vol. in-4., grand papier, et atlas composé de 21 pl. sur demi-feuille grand-aigle. 70 fr.

HATCHETT. EXPÉRIENCES NOUVELLES et Observations sur les différens ALLIAGES DE L'OR, leur pesanteur spécifique, etc., traduite de l'anglais par Lerat, contrôleur du monnayage à Paris, avec des Notes, par Guyton-Morveau, in-4. 9 fr.

HAUY. Membre de l'Académie Royale des Sciences, Professeur de minéralogie au Jardin du Roi, etc., etc. TRAITÉ DES CARACTÈRES PHYSIQUES DES PIERRES PRÉCIEUSES, pour servir à leur détermination lorsqu'elles ont été taillées, 1 vol. in-8., 1817, avec trois planches en taille-douce. 6 fr.

Cet Ouvrage renferme une description des Minéraux qui fournissent les pierres précieuses, suivie d'un exposé des caractères qui servent à les déterminer lorsqu'elles sont taillées, avec des notions théoriques sur les propriétés d'où dérivent ces caractères; on y a joint les figures des instrumens destinés à leur détermination, et l'on y indique avec tous les détails convenables la manière d'en faire usage.

L'Ouvrage est terminé par un Appendice où sont décrites toutes les diverses substances qui, sans tenir un rang parmi les pierres précieuses, sont employées dans la Bijouterie.

— TABLEAU COMPARATIF DES RÉSULTATS DE LA CRISTALLOGRAPHIE et de l'analyse chimique, relativement à la classification des Minéraux, vol. in-8. 5 fr. 50 c

Cet Ouvrage est divisé en deux parties, dont la première présente le Tableau de la Méthode minéralogique de l'Auteur, perfectionnée d'après les découvertes modernes, avec la synonymie des savans étrangers les plus célèbres. La seconde renferme le Recueil des analyses des minéraux faites depuis un certain nombre d'années, par les plus habiles chimistes, avec des observations sur ces mêmes analyses et sur différens points de philosophie minéralogique.

— TRAITÉ DE MINÉRALOGIE, précédé d'un TRAITÉ DE CRISTALLOGRAPHIE, 2e. édition, revue, corrigée et considérablement augmentée; 6 vol. in-8. et deux atlas; ensemble 204 pl. en taille-douce, 1822 et 1823. 90 fr.

Ces deux ouvrages se vendent séparément, savoir :

Traité de Minéralogie, 4 vol. in-8. et atlas de 120 planches in-4. 60 fr.

Traité de Cristallographie, 2 vol. in-8. et atlas de 84 planches in-4. 30 fr.

HAUY. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE, troisième édition, considérablement augmentée, adopté par le Conseil royal de l'Instruction publique, pour l'enseignement dans les colléges, 2 vol in-8 avec 19 pl., 1821. 15 fr.

HISTOIRES ET MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES DE PARIS, 167 vol. in-4., rel. 1500 fr.

Chaque volume, depuis 1666 jusqu'à 1790 (le dernier de cette collection), se vend séparément, 20 fr.

Table des matières contenues dans les Mémoires de l'Académie, 10 vol.; chaque vol. 15 fr.

— Savans étrangers; 11 vol.; chaque vol. 20 fr.

— Prix, tomes 7, 8 et 9, ensemble. 60 fr.

— Machines, 7 vol. 150 fr.

— Le tome 7e, séparément. 36 fr.

HOMASSEL, Élève gagnant maîtrise, et ex-Chef des teintures de la Manufacture des Gobelins. COURS THÉORIQUE ET PRATIQUE SUR L'ART DE LA TEINTURE en laine, soie, fil, coton, fabrique d'Indienne en grand et petit teint, suivi de l'Art du Teinturier-Dégraisseur et du Blanchisseur, avec les expériences faites sur les végétaux colorans, 3e. édit., 1818, 1 vol. in 8. 5 fr.

Cet Ouvrage est le plus élémentaire et le meilleur qui ait encore paru sur la teinture.

* INSTRUCTION DU CONSEIL DE SALUBRITÉ, SUR LA CONSTRUCTION DES LATRINES PUBLIQUES et sur l'assainissement des Fosses d'aisances; précédé du Rapport remis à Monsieur le Dauphin, Par un membre de la Société. *Imprimé par ordre du Conseil général de la Société royale des Prisons*, in-4., 1825, avec de très-grandes planches. 5 fr.

HUTTON. NOUVELLES EXPÉRIENCES D'ARTILLERIE faites pendant les années 1787, 88, 89 et 91, où l'on détermine la force de la poudre, la vitesse initiale des boulets de canon, les portées des pièces à différentes élévations, la résistance que l'art oppose au mouvement des projectiles, les effets des différentes longueurs, des différentes charges de poudre, etc., etc.; trad. de l'anglais, par O. Terquem, prof. de mathématiques aux écoles royales, et bibliothécaire au dépôt central de l'artillerie, etc., 1826, in-4 avec planch. 10 fr.

JANVIER, *horloger ordinaire du Roi*. MANUEL CHRONOMÉTRIQUE, ou Précis de ce qui concerne le Temps, ses divisions, ses mesures, leurs usages, etc., vol. in-12, avec 5 planches gravées par Leblanc, 1821. 4 fr.

JOURNAL DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, par MM. Lagrange, Laplace, Monge, Prony, Fourcroy, Berthollet, Vauquelin, Lacroix, Hachette, Poisson, Sganzin, Guyton-Morveau, Barruel, Legendre; Haüy, Malus.

La Collection jusqu'à la fin 1823, contient 19 Cahiers in-4 renfermés en 18, avec des planches. 129 fr.

Chaque Cahier séparé se vend 6 fr.

Excepté les 17e. et 19e., qui coûtent chacun 9 fr.
Et le 18e. 7 fr. 50 c.
NOTA. *Il n'existe pas de 9e Cahier proprement dit; on prend la* Théorie des Fonctions analytiques *de Lagrange : nouvelle édition*, 1813, *pour former ce 9e. Cahier.* Prix. 15 fr.
JOURNAL DE PHYSIQUE, DE CHIMIE, D'HISTOIRE NATURELLE ET DES ARTS, 96 vol. in-4., avec beaucoup de planches. 1500 fr.
Chaque volume se vend séparément 18 fr.
— et chaque n.°. 4 fr.
JUVIGNY MOYEN DE SUPPLÉER PAR L'ARITHMÉTIQUE A L'EMPLOI DE L'ALGÈBRE dans les questions d'intérêts composés, d'annuités, d'amortissemens, etc, terminé par une application spéciale du même procédé à l'extinction de la dette publique, in-8., 1825. 2 fr.
LABEY, ex-professeur à l'École-Polytechnique, TRAITÉ DE STATIQUE, vol. in-8. 3 fr. 50 c.
LA CAILLE, LEÇONS ÉLÉMENTAIRES DE MATHÉMATIQUES, augmentées par *Marie*, avec des Notes par M. Labey, Professeur de Mathématiques et Examinateur des Candidats pour l'Ecole Polytechnique; Ouvrage adopté par l'Université, pour l'enseignement dans les Lycées, etc., in-8., fig., 1811. 6 fr. 50 c.
— LEÇONS D'OPTIQUE, augmentées d'un TRAITÉ DE PERSPECTIVE; nouvelle édition, in-8., 1808. 5 fr.
LACROIX, Membre de l'Institut et de la Légion-d'Honneur, etc. TRAITÉ DU CALCUL DIFFÉRENTIEL ET DU CALCUL INTÉGRAL; 2e. édition, revue, corrigée et considérablement augmentée, 3 vol. in-4., avec 18 pl. 66 fr.
Le troisième volume se vend séparément, 26 fr.
L'Auteur a fait des changemens et augmentations considérables à cette nouvelle édition, qu'il a revue avec le plus grand soin.
— COURS DE MATHÉMATIQUES à l'usage de l'École centrale des Quatre Nations, Ouvrage adopté par le Gouvernement pour les Lycées, Écoles secondaires, Colléges, etc., 9 vol. in-8. 38 fr. 50 c.
Chaque volume du Cours de M. LACROIX *se vend séparément, savoir :*
— Traité élémentaire d'Arithmétique, 17e. édition, 1826. 2 fr.
— Élémens d'Algèbre, 14e. édit., 1825, 4 fr.
— Élémens de Géométrie, 13e. édit, 1825. 4 fr.
— Traité élémentaire de Trigonometrie rectiligne et sphérique, et l'Application de l'Algèbre à la Géométrie, 7e. édit., 1822. 4 fr.
— Complément des Élémens d'Algèbre, 5e. édition, 1825. 4 fr.
— Complément des Élémens de Géométrie, ou Élémens de Géométrie descriptive, 5e. édition, 1822. 3 fr.
— Traité élémentaire de Calcul différentiel et de Calcul intégral, 3e. édition, 1820. 7 fr. 50 c.
— Essais sur l'Enseignement en général, et sur celui des Mathématiques en particulier, ou Manière d'étudier et d'enseigner les Mathématiques, 1 vol. in-8.; seconde édition, revue et augmentée, 1816. 5 fr.
— TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DU CALCUL DES PROBABILITÉS, in-8., 2e. édition, avec une planche, 1822. 5 fr.
LAGRANGE, Sénateur, Grand Officier de la Légion-d'Honneur, Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes de France, etc. LEÇONS SUR LE CALCUL DES FONCTIONS; nouv. édition, revue, corrigée et augmentée, in-8. 6 fr. 50 c.
Elles contiennent des formules et des méthodes nouvelles.
— DE LA RÉSOLUTION DES ÉQUATIONS NUMÉRIQUES de tous les degrés, avec des Notes sur plusieurs points de la Théorie des équations algébriques, in-4.; 3e. édition, revue et corrigée. Ouvrage adopté par l'Université pour l'enseignement dans les Lycées, etc., 1826. 15 fr.
Cette 3e. édition est précédée d'une analyse de cet ouvrage, par M. POINSOT de l'*Institut*.
— THÉORIE DES FONCTIONS ANALYTIQUES; nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée par l'Auteur, in-4., 1813 15 fr.
— MÉCANIQUE ANALYTIQUE; nouvelle édition, revue et augmentée par l'Auteur, 2 vol. in-4., 1811 et 1815. 36 fr.
(*L'Auteur a fait des augmentations considérables à cette nouvelle édition.*)
— Le tome second se vend séparément, pour ceux qui ne l'ont pas retiré. 18 fr.
Lagrange a publié un grand nombre de Mémoires *dans la collection des Mémoires de l'Académie des Sciences;* quelques-uns se vendent séparément.
LAGRIVE, MANUEL DE TRIGONOMÉTRIE PRATIQUE, revu par les Professeurs du Cadastre, MM. Reynaud, Harros, Plauzol et Boson, et augmenté des Tables des Logarithmes à l'usage des Ingénieurs du Cadastre, 1 vol. in-8. 7 fr.
LALANDE, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire. TABLES DES LOGARITHMES pour les nombres et les sinus, etc., revues par Reynaud, Examinateur des Candidats de l'École Polytechnique, PRÉCÉDÉS DE LA TRIGONOMÉTRIE RECTILIGNE SPHÉRIQUE, par le même; 1 vol. in-18, avec planches, 1818. 3 fr.
Les Tables de Logarithmes de LALANDE seules, sans la Trigonométrie de M. Reynaud, se vendent séparément. 2 fr.
— HISTOIRE CÉLESTE FRANÇAISE, in-4. 15 fr.
— BIBLIOGRAPHIE ASTRONOMIQUE, in-4, 30 fr.
LAMÉ, Élève Ingénieur au Corps royal des Mines; Examen des différentes méthodes employées pour résoudre les PROBLÈMES DE GÉOMÉTRIE; in-8., avec pl., 1818. 2 fr. 50 c.
LANCELIN. INTRODUCTION A L'ANALYSE DES SCIENCES, ou de la Génération des fondemens et des instrumens de nos connaissances, 3 vol. in-8., 1803. 15 fr.
LANZ et BETANCOURT. ESSAI SUR LA

COMPOSITION DES MACHINES, 2e. édition, revue, corrigée et considérablement augmentée, vol. in-4. avec 13 gr. pl, 1819. 15 fr.

LAPEYROUSE (DE). TRAITÉ SUR LES MINES ET LES FORGES du comté de Foix, in-8., avec 6 grandes planches. 6 fr.

LAPLACE (M. le marq. de), Pair de France, Grand-Officier de la Légion-d'Honneur, Membre de l'Institut, du Bureau des Longitudes de France, des Sociétés royales de Londres, de Gottingue, etc. TRAITÉ DE MÉCANIQUE CÉLESTE 5 vol. in-4., 1798 à 1825. 92 fr.

— Le même, grand papier vélin. 180 fr.

Le 4e. vol. de cet ouvrage, qui contient de plus la *Théorie de l'action capillaire et un Supplément faisant suite au deuxième livre de la Mécanique céleste*, se vend séparément, 21 fr.

Chaque Suppl., séparément. 3 fr. 50 c.

— Le même, grand papier vélin. 52 fr.

— MÉCANIQUE CÉLESTE, tom. V, in-4., 1825. 26 fr.

— EXPOSITION DU SYSTÈME DU MONDE, 5e. édition, revue et augmentée par l'Auteur, in-4., 1824, avec portrait, 15 fr.

— Le même ouvrage, 2 vol. in-8., sans port., 1824. 12 fr.

— THÉORIE analytique DES PROBABILITÉS, 1 vol. in-4., troisième édition, 1820, avec le 4e. supplément. 27 fr. 50 c.

— Quatrième Supplément à la Théorie des Probabilités, 1825, séparément. 2 fr. 50 c.

— ESSAI philosophique SUR LES PROBABILITÉS, 5e. édition, revue et augmentée, in 8., 1825. 4 fr.

— PRÉCIS DE L'HISTOIRE D'ASTRONOMIE, 1 vol. in-8., 1821. 3 fr.

LABOUVRAYE (DE). L'ART DES COMBATS SUR MER, dédié au Duc d'Angoulême, in-4. avec pl. 6 fr.

LASALLE. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'HYDROGRAPHIE appliquée à toutes les parties du pilotage, etc. 1 vol. in-8., avec pl, 1817. 6 fr.

LEFÈVRE, Géomètre en chef du Cadastre. NOUVEAU TRAITÉ DE L'ARPENTAGE, à l'usage des personnes qui se destinent à l'état d'arpenteur, au levé des plans et aux opérations du nivellement, *quatrième édition* entièrement refondue et augmentée d'un Traité de Géodésie pratique, ouvrage contenant tout ce qui est relatif à l'arpentage, l'aménagement des bois et la division des propriétés; ce qu'il faut connaître pour les grandes opérations géodésiques et le nivellement, 2 vol. in-8. avec 29 pl. nouvellement gravées, dont une color. pour les teintes conventionelles, 1826. 16 fr

— MANUEL DU TRIGONOMÈTRE, servant de Guide aux jeunes Ingénieurs qui se désignent aux opérations géodésiques; suivi de diverses solutions de Géométrie pratique, de quelques Notes et de plusieurs Tableaux, 1 vol. in-8., avec planches; 1819. 5 fr.

LEFRANÇOIS. ESSAIS DE GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE, 2e. édition, revue et augmentée, 1 vol. in-8., 1824. 2 fr. 50 c.

LEGENDRE, Membre de l'Institut et de la Légion-d'Honneur, Conseiller titulaire de l'Université. ESSAIS SUR LA THÉORIE DES NOMBRES, 2e édition, revue et considérablement augm., in-4., 1808, avec deux Supplémens, imprimés en 1816 et en 1825. 24 fr.

Le Supplément imprimé en 1816 se vend séparément. 3 fr.

Celui imprimé en 1825. 3 fr.

— Nouvelle Méthode pour la DÉTERMINATION DES ORBITES DES COMETES, avec deux Supplémens contenant divers perfectionnemens de ces Méthodes et leur application aux deux Comètes de 1805, 1806, in-4. 10 fr.

Le deuxième Supplément, 1820, se vend séparément. 4 fr.

— EXERCICES DU CALCUL INTÉGRAL sur divers ordres de transcendantes et sur les quadratures, 3 vol. in-4. avec les supplémens, 1811 à 1819. 72 fr.

LEGENDRE et DELAMBRE. Méthode analytique pour la détermination d'un arc du méridien, in-4. 9 fr.

LE NORMAND, professeur de technologie, etc. NOUVEAU MANUEL DE L'ART DU DÉGRAISSEUR, etc., ou Instruction sur les moyens d'enlever soi-même toutes sortes de taches; 3e. *édit.*, revue, corrigée et augmentée d'un *Appendice* sur la manière de blanchir le papier et d'enlever les taches d'encre, de graisse, de cire ou d'huile sur les livres et estampes, etc., 1 vol. in-12, avec une planche, 1826. 3 fr.

— L'ART DU DISTILLATEUR des eaux-de-vie et des esprits, 2 vol. in-8., fig., 1817. 18 fr.

LEPAUTE, Horloger du Roi. TRAITÉ D'HORLOGERIE, contenant tout ce qui est nécessaire pour bien connaître et pour régler les pendules et les montres, la description des pièces d'horlogerie les plus utiles, etc., vol. in-4., avec 17 pl. 24 fr.

LHUILLIER, *membre de la Société d'Encouragement de Rouen.* QUELQUES IDÉES NOUVELLES SUR L'ART D'EMPLOYER L'EAU comme moteur des roues hydrauliques, in-8, 1823, fig. 2 fr. 50 c.

L'HUILLIER ET PETIT. DICTIONNAIRE DES TERMES DE MARINE ESPAGNOLS ET FRANÇAIS, in-8. 8 fr.

LIBES, Professeur de Physique au Lycée Charlemagne à Paris, etc. HISTOIRE PHILOSOPHIQUE DES PROGRÈS DE LA PHYSIQUE, 4 vol. in-8., 1811 et 1814. 20 fr.

Le quatrième volume se vend séparément. 5 fr.

— TRAITÉ COMPLET ET ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE, présenté dans un ordre nouveau, d'après les découvertes modernes; deuxième édition, revue, corrigée et considérablement augmentée, 3 vol. in-8., avec fig., 1813. 18 fr.

(*Tous les Journaux ont fait le plus grand éloge de ces deux Ouvrages.*)

MAGRÉ. LE PILOTE AMÉRICAIN, con-

tenant la description des côtes orientales de l'Amérique du nord, depuis le fleuve Saint-Laurent jusqu'au Mississipi, et trad. de l'anglais, et publié par ordre du ministre de la marine, 1826, in-8. 5 fr.

* MALUS, Lieutenant-Colonel au Corps du Génie, Membre de l'Institut d'Égypte. THÉORIE DE LA DOUBLE RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE dans les substances cristallisées, in-4., avec pl. 12 fr.

MARCHAND. VOYAGE AUTOUR DU MONDE en 1790, 1791 et 1792, 3 vol. in-4., atlas 48 fr.

MARCEL DE SERRES. ESSAI SUR LES ARTS et les Manufactures d'Autriche, 1814, 3 vol. in-8, avec 34 planch., 21 fr.

MARIE et LA CAILLE. LEÇONS ÉLÉMENTAIRES DE MATHÉMATIQUES, cinq. édition, suivie de Notes et Additions par M. Labey, 1811. Ouvrage adopté par l'Université, in 8. 6 fr. 50 c.

MARIE, *Professeur de Mathématiques et de Topographie.* PRINCIPES DU DESSIN ET DU LAVIS DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE, présentés d'une manière élémentaire et méthodique, avec tous les développemens nécessaires aux personnes qui n'ont pas l'habitude du Dessin, accompagnés de 9 modèles, dont huit sont coloriés avec soin; 1 vol. in-4., oblong., 1825. 15 fr.

MASCHERONI. PROBLÈMES DE GÉOMÉTRIE, résolus de différentes manières, traduit de l'italien, 1 vol. in-8., 1803. 3 fr.

MAUDUIT, Professeur de Mathématiques au Collége de France à Paris. LEÇONS ÉLÉMENTAIRES D'ARITHMÉTIQUE, ou Principes d'Analyse numérique, in 8., nouv. édition, 4803. 5 fr.

— LEÇONS DE GÉOMÉTRIE THÉORIQUE ET PRATIQUE, nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée, 2 vol. in-8., 1817, avec 17 pl., 10 fr.

MAYNIEL, Chef de bataillon au corps du Génie, sous-directeur des fortifications. TRAITÉ EXPÉRIMENTAL, ANALYTIQUE ET PRATIQUE DE LA POUSSÉE DES TERRES ET DES MURS DE REVÊTEMENT, contenant: 1°. l'Exposition et la Discussion des expériences anciennes et nouvelles sur la poussée des terres; 2°. l'Exposition et la Discussion des diverses théories sur la poussée des terres; 3°. la Comparaison des nouvelles expériences sur la théorie de Coulomb, généralisée, et application de cette théorie; 4°. Traité pratique sur la poussée des terres et des murs de revêtement; suivi d'un Appendice sur le frottement des vannes dans leurs coulisses, 1808, 1 vol. in-4. 12 fr.

MÉCANIQUE ET DESCRIPTION DE MACHINES RELATIVES A L'AGRICULTURE ET AUX ARTS (recueil de), par Person, in-4., avec 18 pl. 10 fr.

MÉLANGES D'ANALYSE ALGÉBRIQUE ET DE GÉOMÉTRIE, par de Stainville, 1 vol. in-8., 1815, avec pl. 7 fr. 50 c.

MAZURE-DUHAMEL, *Conservateur de l'Observatoire de la Marine et Professeur à l'École de Navigation à Toulon.* MÉMOIRE SUR L'ASTRONOMIE NAUTIQUE, in-4. avec 2 pl. et tableaux. 7 fr. 50 c.

MÉMOIRES DE L'INSTITUT.

Sciences physiques et mathématiques.

		fr.
Tom.	1	18 fr.
	2	24
	3	18
	4	18
	5	20
	6	20
	7 ou 1806	24
	8 ou 1807	20
	9 ou 1808	20
	10 ou 1809	20
	* 11 ou 1810, 2 vol.	22
	* 12 ou 1811, 2 vol.	25
	* 23 ou 1812, 2 vol.	22
	* 14 ou 1813, 1814, 1815, 1 v.	18
	* Acad. des Sc., 1816, tom. 1	18
	* 1817, 2	20
	* 1818, 3	25
	* 1819 et 1820,	30

Savans étrangers.

Tom.	1	36
	2	18

Base du système métrique.

		fr.
Tom.	1, 2, 3	100
	4 par Biot et Arago	21

Science morale et politique.

Tom.	1	18
	2	18
	3	18
	4	18
	5	18

Littérature et Beaux-Arts.

Tom.	1	20
	2	20
	3	20
	4	20
	5	20

Littérature ancienne.

Tom.	* 1 et 2	42
	* 3 et 4	42
	* 5 et 6	48

MÉMOIRES SUR LA TRIGONOMÉTRIE sphérique, par un Officier de l'État-Major, etc., in-8., 1 fr. 50 c.

MOLLET, ex-Doyen de la Faculté des Sciences de Lyon, etc. GNOMONIQUE GRAPHIQUE, ou Méthode simple et facile pour tracer les Cadrans solaires sur toutes sortes de plans et sur les surfaces de la sphère, et du cylindre droit, sans aucun calcul, et en ne faisant usage que de la règle et du compas, *deuxième édit.*, suivie de la Gnomonique analytique, etc., 1 vol., in-8, 1820, avec 8 planches. 2 fr. 50 c.

MONGE, (G.) ancien Sénateur, Membre de l'Institut. GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. 4e. édit., augmentée d'une Théorie des Ombres et de la perspective, extraite des papiers de l'Auteur, par M. BRISSON, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur

en Chef des Ponts et Chaussées, 1 vol. in-4., avec 28 pl., 1820. 12 fr.

MONGE. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE STATIQUE, à l'usage des Écoles de la Marine, in-8., 6e. édition, revue par M. Hachette, ex-Instituteur de l'École Polytechnique. Ouvrage adopté par l'Université pour l'enseignement dans les Lycées. 3 fr. 25 c.

MONTEIRO-DA-ROCHA, Commandeur de l'Ordre du Christ, Directeur de l'Observatoire de l'Université de Coïmbre, etc. MÉMOIRES SUR L'ASTRONOMIE PRATIQUE, traduits du portugais par M. de Mello, in-4., 1808. 7 fr. 50 c.

Cet ouvrage, dont les Journaux scientifiques, et surtout le Bureau des Longitudes, ont rendu un compte très-avantageux, contient indépendamment des autres Mémoires, un Traité sur les Eclipses sujettes aux parallaxes, le plus complet et le plus simple qui ait paru jusqu'ici.

MONTGERY (DE), Capitaine de frégate RÈGLES DE POINTAGE à bord des vaisseaux, ou Remarques sur ce qui est prescrit à cet égard, dans les exercices de 1808 à 1811 : suivies de Notes sur diverses branches d'artillerie en général, et en particulier de l'artillerie de la Marine, 1 vol. in 8., 5 fr.

— MÉMOIRE SUR LES PETARDS FLOTTANS et sur les mines flottantes, ou machines infernales maritimes, br. in 8., 1819. 2 fr.

* — TRAITÉ DES FUSÉES DE GUERRE; nommées autrefois Rochettes, et maintenant Fusées à la Congrève, in-8., 1825, figures. 6 fr.

MONTUCLA. HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES, dans laquelle on rend compte de leurs progrès depuis leur origine jusqu'à nos jours; où l'on expose le Tableau et le développement des principales découvertes dans toutes les parties des Mathématiques, les contestations qui se sont élevées entre les Mathématiciens, et les principaux traits de la vie des plus célèbres. *Nouvelle édition*, considérablement augmentée, et prolongée jusque vers l'époque actuelle, achevée et publiée par Jérôme de Lalande, 4 vol. in-4, avec figures. 60 fr.

Il reste encore quelques exemplaires des tom. III et IV, qui se vendent séparement des deux premiers vol. 40 fr.

Cet ouvrage est ce qui existe de plus complet jusqu'à présent en cette partie.

* MOREL (ALEX.) PRINCIPE ACOUSTIQUE nouveau et universel de la Théorie musicale, ou la Musique expliquée, 1 vol. avec pl., 1816. 7 fr.

NEWTON. ARITHMÉTIQUE UNIVERSELLE, traduite en français par M. Baudeux, avec des notes explicatives, 2 vol., in-4., 14 planches. 40 fr.

NICHOLSON. DESCRIPTION DES MACHINES A VAPEUR, et détail des principaux changemens qu'elles ont éprouvés depuis l'époque de leur invention, et des améliorations qui les ont fait parvenir à leur état actuel de perfection, ouvrage traduit de l'anglais, 1 vol. in-8. avec 8 pl., 1826. 5 fr.

NOEL. ALGÈBRE ÉLÉMENTAIRE raisonnée et appliquée, 1 vol in-8., 1821. 5 fr.

NORIE. RECUEIL COMPLET DE TABLES UTILES A LA NAVIGATION. (*Voy.* VIOLAINE). 6 fr.

NOUVELLE THÉORIE DES PARALLÈLES avec un appendice contenant la manière de perfectionner la théorie des parallèles de A. M. Legendre, in-8. 2 fr.

OBEINHEIM (d') ancien sous-directeur des fortifications etc. BALISTIQUE, indication de quelques expériences propres à compléter la théorie du mouvement des Projectiles de l'Artillerie, etc. Strasbourg, 1814. in-8., avec 3 pl. 6 fr.

PAIXHANS, Élève de l'École Polytechnique, Chef de bataillon au Corps royal d'Artillerie, etc NOUVELLE FORCE MARITIME et application de cette force à quelques parties du service de l'armée de terre, ou Essai sur l'état actuel des moyens de la force maritime; sur une espèce nouvelle d'artillerie de mer qui détruirait promptement les vaisseaux de haut bord; sur la construction de navires à voiles et à vapeur, de grandeur modérée, qui, armés de cette artillerie, donneraient une marine moins coûteuse et plus puissante que celle existante, et sur la force que le système des bouches à feu proposé offrirait à terre pour les batteries de siège, de place, de côtes et de campagne; in-4. avec 7 planches, 1822. 18 fr.

— EXPÉRIENCES FAITES PAR LA MARINE FRANÇAISE, sur une arme nouvelle, changemens qui paraissent devoir en résulter dans le système naval, et examen de quelques questions relatives à la Marine, à l'Artillerie, à l'attaque et à la defense des Côtes et des Places, in-8. 1825. 3 fr.

PARISOT. TRAITÉ DU CALCUL CONJECTURAL, ou l'Art de raisonner sur les choses futures et inconnues, in-4, 1810. 15 fr.

PAUCTON. TRAITÉ DE MÉTROLOGIE, ou Traité des Mesures, Poids et Monnaies des anciens et des modernes, in-4. 18 fr.

PERSON. RECUEIL DE MÉCANIQUE ET DESCRIPTION DE MACHINES RELATIVES A L'AGRICULTURE ET AUX ARTS, in-4., avec 18 pl., 1802. 10 fr.

PERTUSIER, officier d'artillerie de la garde royale. LA FORTIFICATION ordonnée d'après les principes de la Statique et de la Balistique modernes, etc. 1822, in-8. avec atlas. 25 fr.

Cet ouvrage n'a été tiré qu'à 400 exemp., 123 seulement ont été livrés au commerce.

— La Moldavie et la Valachie, et de l'influence politique des Grecs du Fanar, in-8., 1822. 3 fr.

POINSOT, Membre de l'Institut et de la Légion-d'Honneur, Inspecteur-général de l'Université. Examinateur d'admission à l'École Polytechnique et à l'École spéciale militaire de Saint Cyr, etc. TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE STATIQUE, adopté pour l'Instruction publique, in-8, 4e. édit., 1821, avec pl. 5 fr.

— MÉMOIRE SUR L'APPLICATION DE

L'ALGÈBRE A LA THÉORIE DES NOMBRES, in-4., 1819. 3 fr.

POINSOT. RECHERCHES SUR L'ANALYSE DES SECTIONS ANGULAIRES, in-4., 1825. 5 fr.

POISSON, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, etc. TRAITÉ DE MÉCANIQUE, 2 vol. in-8., avec 8 pl, 1811. 12 fr.

* POMMIÉS. MANUEL DE L'INGÉNIEUR DU CADASTRE, contenant les connaissances théoriques et pratiques utiles aux Géomètres en chef et à leurs collaborateurs, pour exécuter le levé général du plan des communes de France, conformément aux instructions du Ministre des Finances sur le cadastre de France; précédé d'un Traité de Trigonométrie rectiligne, par A. A. Reynaud, vol in-4., 1808. 12 fr.

PONCELET, ancien élève de l'École Polytechnique, capitaine au corps royal du Génie. TRAITÉ DES PROPRIÉTÉS PROJECTILES DES FIGURES, ouvrage utile à ceux qui s'occupent des applications de la Géométrie descriptive, et d'opérations géométriques sur le terrain, in-4., 1822. 16 fr.

POULLET-DELISLE, Professeur de mathématiques au Lycée d'Orléans. APPLICATION DE L'ALGÈBRE A LA GÉOMÉTRIE, in-8, 1806. 5 fr.

— RECHERCHES ARITHMÉTIQUES, trad. du latin de GAUSS, in 4. 18 fr.

PRONY, Membre de l'Institut. LEÇONS DE MÉCANIQUE ANALYTIQUE, données à l'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, 2 vol. in-4., 1815. 30 fr.

Le même ouvrage, 2 vol. in-4., grand papier, 36 fr.

— Et les autres ouvrages du même auteur.

PROUST. Recueil de Mémoires relatifs à la poudre à canon; extrait du Journal de Physique, in-4. 18 fr.

PUISSANT, Officier supérieur, Chef des études à l'École d'Application des Ingénieurs Géographes, etc. RECUEIL DE DIVERSES PROPOSITIONS DE GÉOMÉTRIE, résolues ou démontrées par l'analyse, 3e. *édit.*, augmentée d'un précis sur le LEVÉ DES PLANS, in-8., avec pl. 1824. 7 fr.

— TRAITÉ DE GÉODÉSIE, ou exposition des Méthodes trigonométriques et astronomiques, applicables, soit à la mesure de la Terre, soit à la confection du canevas des cartes et des Plans topographiques, 2e. éd., 2 vol. in-4., formant ensemble plus de 800 p., avec 13 pl., 1819. 30 fr.

— MÉTHODE GÉNÉRALE pour obtenir le résultat moyen dans une série d'observations astronomiques faites avec le cercle répétiteur de Borda, in-4., 1821. 6 fr.

— TRAITÉ DE TOPOGRAPHIE, d'Arpentage et de Nivellement, 2e. édit., considérablement augmentée, 1 vol. in-4., avec 9 pl. gravées par M. Adam. 20 fr.

— OBSERVATIONS sur les différentes manières d'exprimer le relief du terrain, 2e. édition, 1826, in-8.

QUARTIER DE RÉDUCTION et astronomique en usage dans la Marine, en feuille. 60 c. collé sur carton. 1 fr. 50 c.

RAMSDEN. DESCRIPTION D'UNE MACHINE pour diviser les instrumens de mathématiques, traduit de l'anglais par Lalande, 1770, in-4, grand papier, fig. 6 fr.

RAVINET, *sous-chef à la division générale des Ponts-et-Chaussées*. DICTIONNAIRE HYDROGRAPHIQUE DE LA FRANCE, contenant la description des rivières et canaux flottables et navigables dépendans du domaine public, avec un tableau synoptique, indiquant le système général de la navigation intérieure; ouvrage couronné par l'Académie royale des Sciences; suivi de la Collection complète des Tarifs des Droits de Navigation; 2 vol. in-8. avec une très-grande Carte de la Navigation intérieure, publiée par la Direction des Ponts-et-Chaussées. 15 fr.

Le tome deuxième, contenant les lois, règlemens, etc., relatifs à la Navigation, se vend séparément. 8 fr.

REBOUL. (Antoine-Joseph) TABLES NOUVELLES DE VENUS, d'après la Théorie de M. de Laplace, et d'après les Élémens de M. de Lindeneau, in-4, 1811. 5 fr.

— NOTES SUR LA NAVIGATION DE BEZOUT, in-8. 3 fr.

REYNAUD, Examinateur des Candidats de l'École Polytechnique. ARITHMÉTIQUE, à l'usage des élèves qui se destinent à l'École Polytechnique et à l'École Militaire, 12e. édition, augmentée d'une Table des Logarithmes des nombres entiers, depuis un jusqu'à dix mille, 1 vol in-8., 1824. 3 fr. 50 c.

— TRAITÉ D'ALGÈBRE, à l'usage des élèves qui se destinent à l'*École Polytechnique* et à l'école spéciale Militaire, 1 vol. in-8., 5e. édit.; 1821. 5 fr 50 c.

— ALGÈBRE, ancienne édit., 2e. section, 1 vol in-8., 1810. 5 fr.

— TRAITÉ DE L'APPLICATION DE L'ALGÈBRE A LA GÉOMÉTRIE ET DE TRIGONOMÉTRIE, à l'usage des élèves qui se destinent à l'École Polytechnique; 1 vol. in-8. avec 10 pl, 1819. 6 fr.

— COURS ÉLÉMENTAIRE DE MATHÉMATIQUES, DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE, à l'usage des élèves qui se destinent à subir les examens pour le Baccalauréat ès-lettres, 1 vol. in-8, 1824. 6 fr.

— TRIGONOMÉTRIE RECTILIGNE ET SPHÉRIQUE, 3e. édit., suivie des TABLES DES LOGARITHMES des nombres et des lignes trigonométriques de LALANDE, in 18 avec fig., 1818. 3 fr.

Les Tables de Logarithmes de LALANDE seules, sans la Trigonométrie, se vendent séparément 2 fr.

— ARITHMÉTIQUE à l'usage des Ingénieurs du Cadastre, in-8. 5 fr.

— MANUEL de l'Ingénieur du Cadastre; par MM. Pommiés et Reynaud, in-4. 12 fr.

— TRAITÉ DE TRIGONOMÉTRIE de Lagrive, avec les notes de Reynaud, in-4. 7 fr.

— ET DUHAMEL. PROBLÈMES ET DÉVELOPPEMENS sur les diverses parties des

mathématiques, in-8. avec 11 pl., 1823 6 fr.

REYNAUD. NOTES SUR L'ARITHMÉTIQUE DE BEZOUT, 11e. édit., in-8., 1823 2 fr. 50 c.

— SUR LA GÉOMÉTRIE, in 8., 1825. 4 fr.

— SUR L'ALGÈBRE, et application de l'Algèbre à la Géométrie; in-8., 1823. 4 fr

RIVARD. TRAITÉ DE LA SPHÈRE ET DU CALENDRIER; 7e. édit, (faite sur la 6e. donnée par M. Lalande), revue et augmentée de notes et addit., par M. Puissant, officier supérieur; 1 vol. in-8., avec 3 pl. bien gravées, 1816. 4 fr.

ROMME, Associé de l'Institut de France TABLEAUX DES VENTS, DES MARÉES ET DES COURANS qui ont été observés sur toutes les mers du globe, avec des réflexions sur ces phénomènes, 2 vol. in-8., 1817. 12 fr.

RUGGIÉRI. ÉLÉMENS DE PYROTECHNIE divisés en cinq parties: la 1re. contenant le Traité des matières; la 2e. les feux de terre, d'air et d'eau; la 3e., les feux d'aérostation; la 4e., les feux de théâtre et les feux de guerre; suivis d'un Vocabulaire et de la Description de quelques feux d'artifices, etc.; 2e. édit. revue, corrigée et augmentée de nouvelles découvertes et inventions faites par l'auteur, telles que les beaux feux verts, baguettes détonnantes pour éviter la chute dangereuse des fusées volantes, etc., 1 vol in-8. avec 28 pl., 1821. 9 fr.

—PYROTECHNIE MILITAIRE, 1812, 1 vol. in-8. avec pl. 6 fr.

SÉGUIN. MANUEL D'ARCHITECTURE, ou Principes des Opérations primitives de cet Art, où l'on expose des Méthodes abrégées tant pour l'évaluation des surfaces et solides circulaires que pour le développement des courbes, et pour l'extraction des racines carrées et cubiques, par de nouvelles règles fort simples. Cet ouvrage est terminé par une table des carrés et des cubes, dont les racines commencent par l'unité et vont jusqu'à dix mille, in-8. avec 10 pl. 6 fr.

—TABLES DES NOMBRES CARRÉS ET CUBIQUES, et des racines de ces nombres, depuis un jusqu'à dix mille. 3 fr.

SERVOIS. SOLUTIONS PEU CONNUES de différens problèmes de Géométrie pratique, 1 vol. in 8. 2 fr. 50 c.

SGANZIN, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, etc. PROGRAMMES OU RÉSUMÉS DES LEÇONS D'UN COURS DE CONSTRUCTION, avec des Applications tirées principalement de l'Art de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées, 3e. édition. revue et considérabl. aug., 1 vol. in-4, 1821 avec 10 pl. 15 fr.

SIMONIN. TRAITÉ D'ARITHMÉTIQUE DÉCIMALE, 1 vol. in-8. 2 fr.

SYLVESTRE. TRAITÉ D'ARITHMÉTIQUE à l'usage des Pensionnats et des Écoles Chrétiennes, 3e. édit., 1822. 5 fr.

SIMMENCOURT. TABLEAUX DES MONNAIES de change et des monnaies réelles, des poids et mesures, des cours des changes et des usages commerciaux des principales villes du monde, ou Répertoire du banquier, in-4., 1817. 3 fr.

SINGER (George). ÉLÉMENS D'ÉLECTRICITÉ ET DE GALVANISME, traduit de l'anglais par THILLAYE, Professeur au collége Louis-le-Grand, 1 fort vol. in-8., 1816. 8 fr.

SMEATON. (*Voyez* GIRARD.)

SOULAS. LA LEVÉE DES PLANS ET L'ARPENTAGE RENDUS FACILES, précédés de notions élémentaires de Trigonométrie rectiligne à l'usage des employés au Cadastre de la France, deuxième édition, revue et corrigée, 1 vol. in-8., 1820, avec 8 pl. 3 fr.

STAINVILLE (De), Répétiteur à l'École Polytechnique. MÉLANGES D'ANALYSE ALGÉBRIQUE ET DE GÉOMÉTRIE, 1 vol. in-8. de 600 pages, 1815, avec 3 pl. 7 fr. 50 c.

STIRLING. ISAACI NEWTONI ENUMERATIO LINEARUM TERTII ORDINIS, sequitur illustratio ejusd. tractatûs, in-8. 7 fr. 50 c.

SUZANNE, Docteur ès-Sciences, Professeur de Mathématiques au Lycée Charlemagne à Paris, etc. DE LA MANIÈRE D'ÉTUDIER LES MATHÉMATIQUES; Ouvrage destiné à servir de guide aux jeunes gens, à ceux surtout qui veulent approfondir cette science, ou qui aspirent à être admis à l'École Normale ou à l'École Polytechnique, 3 vol. in-8., avec fig.

Chaque partie se vend séparément : savoir,

— 1re. *Partie*. PRÉCEPTES GÉNÉRAUX ET ARITHMÉTIQUE, seconde édition, considérabl. aug., in-8. 6 fr.

— 2e. *Partie*. ALGÈBRE, épuisée, in-8. *ne se vend plus séparément.*

— 3e. *Partie*. GÉOMÉTRIE, in-8. 6 fr. 50 c.

TÉDENAT, Recteur de l'Académie de Nismes. Leçons élémentaires D'ARITHMÉTIQUE et D'ALGÈBRE, in-8. 5 fr.

—Leçons élémentaires de GÉOMÉTRIE, in-8. 5 fr.

— Leçons élémentaires d'APPLICATION DE L'ALGÈBRE A LA GÉOMÉTRIE, et Calculs différentiel et intégr., 2 vol. in-8, 10 fr.

THEVENEAU. COURS D'ARITHMÉTIQUE à l'usage des Écoles centrales et du Commerce, in-8 3 fr.

THIOUT aîné, maître horloger à Paris. TRAITÉ D'HORLOGERIE MÉCANIQUE ET PRATIQUE, approuvé par l'Acad. royale des Sc., 2 vol in-4., avec 91 pl. 36 fr.

TREDGOLD (Thomas), Ingénieur civil, Membre de l'institution des Ingénieurs civils. ESSAI PRATIQUE SUR LA FORCE DU FER COULÉ ET D'AUTRES MÉTAUX, destiné à l'usage des ingénieurs, des maîtres de forges, des architectes, des fondeurs, et de tous ceux qui s'occupent de la construction des machines, des bâtimens, etc., contenant des règles pratiques, des tables et des exemples, le tout fondé sur une suite d'expériences nouvelles, et une table étendue des propriétés de divers matériaux; traduit de l'anglais, sur la deuxième édition, par

T. DUVERNE. 1 vol. in-8. avec planch., 1826. 7 fr.

TREDGOLD. PRINCIPES DE L'ART DE CHAUFFER ET D'AÉRER LES ÉDIFICES PUBLICS, les Maisons d'habitation, les Manufactures, les Hôpitaux, les Serres, etc., et de construire les Foyers, les Chaudières, les Appareils pour la vapeur, les Grilles, les Étuves, démontrés par le Calcul et appliqués à la Pratique; avec des remarques sur la nature de la Chaleur et de la Lumière, et plusieurs Tables utiles dans la Pratique; trad. de l'anglais sur la 2e. édit., par Th. DUVERNE. 1 vol. in-8., avec planch. 1825. 7 fr.

— TRAITÉ PRATIQUE sur les chemins en fer et sur les voitures destinées à les parcourir. Principes d'après lesquels on peut évaluer leur force, leurs proportions et la dépense qu'ils nécessitent; ainsi que leur produit annuel; conditions à remplir pour les rendre utiles, économiques et durables; théorie des chariots à vapeur, des machines stationnaires, et de celles où l'on emploie le gaz. Leur effet utile et les frais qu'elles occasionent. Orné de planches, et contenant beaucoup de tables, in-8. 1826. 5 fr.

TREUIL, Professeur à l'École militaire de Saint-Cyr. ESSAIS DE MATHÉMATIQUES, contenant quelques détails sur l'Arithmétique, l'Algèbre, la Géométrie et la Statique, in-8, 1819. 2 fr.

* VALLÉE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au Corps royal des Ponts-et-Chaussées. TRAITÉ DE LA GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE, dédié à M. MONGE. (Ouvrage sur lequel l'Institut de France a fait un rapport très-avantageux.) 2e. édit., 1 vol. in-4., avec un atlas de 67 pl., 1825. 20 fr.

* — TRAITÉ DE LA SCIENCE DU DESSIN, contenant la théorie générale des ombres, la perspective linéaire, la théorie des images d'optique, et la perspective aérienne appliquée au lavis: pour faire suite à la Géométrie descriptive, 1 vol. in-4, avec un atlas de 56 pl., 1821. 20 fr.

VASTEL. ARITHMÉTIQUE DU JEU DE BOSTON, ou Chances Bostoniennes, in-12. 1 fr. 50 c.

VAN-BEEK. De l'influence que le fer des vaisseaux exerce sur la boussole, et un moyen d'estimer la déviation que l'aiguille éprouve de ce chef, trad. du hollandais; par M. Lipkins, in-8. 2 fr. 50 c.

VIOLAINE. RECUEIL DES TABLES UTILES A LA NAVIGATION, traduit de l'anglais de John William NORIE, professeur d'Hydrographie à Londres; précédé d'un ABRÉGÉ DE NAVIGATION PRATIQUE, contenant ce qui est nécessaire et indispensable à toutes les classes de marins; enrichi de plus, d'un VOCABULAIRE des termes les plus usités dans la MARINE; le tout extrait des meilleurs Auteurs français, anglais, espagnols, etc; recueilli, mis en ordre et augmenté de Remarques et Observations nouvelles, par P. A. VIOLAINE, ex-Commissaire de Marine, Professeur de Mathématiques et de Navigation, etc., 1 vol. in-8., 1815. 9 fr.

VOIRON. HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE depuis 1781 jusqu'à 1811, pour servir de suite à l'Histoire de l'Astronomie de Bailly, in-4., 1811. 12 fr.

(Cet ouvrage est indispensable aux personnes qui possèdent les 5 volumes de l'Astronomie de Bailly.)

WILLAUMEZ, vice-amiral. DICTIONNAIRE DES TERMES DE MARINE, nouvelle éd. revue et augmentée, 1825, vol. in-8, avec pl. dessinées et gravées par Baugeau. 12 fr.

— Le même, avec 157 pavillons. 15 fr.

Les 157 pavillons coloriés se vendent séparément 3 fr.

MÉLANGES.

DESTUTT-TRACY, Pair de France, Grand-Officier de la Légion-d'Honneur, Membre de l'Institut, etc. ÉLÉMENS D'IDÉOLOGIE, nouvelle édit., 4 vol. in-8. 22 fr.

Chaque volume se vend séparément, savoir:

IDÉOLOGIE proprement dite, in-8., 3e. édit., 1817. 5 fr.

GRAMMAIRE, in-8, 2e. édit., 1817. 5 fr.

LOGIQUE, 2e. édit., 1818. 6 fr.

TRAITÉ DE LA VOLONTÉ, et de ses effets, 4e. et 5e. parties, 2e. édit., in-8., 1818. 6 fr.

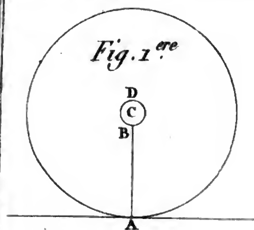
DUTENS. Analyse raisonnée des PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'ÉCONOMIE POLITIQUE, in 8., 1804. 3 fr.

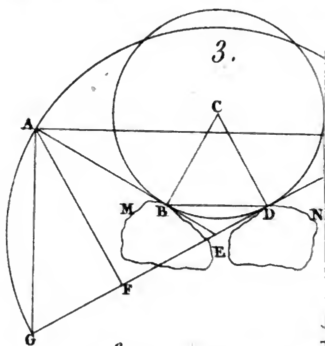
FLORE NATURELLE ET ÉCONOMIQUE DES PLANTES QUI CROISSENT AUX ENVIRONS DE PARIS, au nombre de plus de 400 genres et de 1400 espèces, contenant l'énumération de ces plantes, rangées suivant le système de Jussieu, et par ordre alphabétique, leurs noms triviaux, leur synonymie française, leurs descriptions, les endroits où se trouvent les plus rares, leurs propriétés pour les alimens, les médicamens, l'art vétérinaire, les arts et métiers, et l'ornement des jardins; ouvrage élémentaire d'une utilité première, et également propre aux différentes classes de citoyens, 2e. édit., augmentée de la Flore naturelle et de 24 pl. soigneusement gravées; par une Société de Naturalistes, 2 vol. in-8. de près de 1000 p. 10 fr.

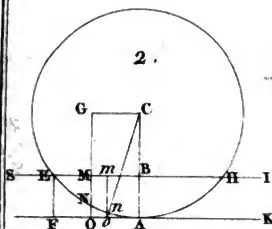
HISTOIRE DES INSECTES NUISIBLES ET UTILES A L'HOMME, aux bestiaux, à l'agriculture, au jardinage et aux arts, avec la Méthode de détruire les nuisibles et multiplier les utiles, 5e. édit., 2 vol. in-12, an 7. 5 fr.

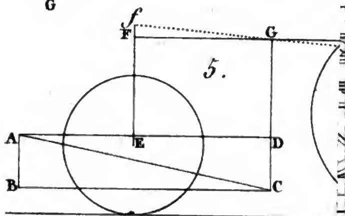
Je distribue gratis mon catalogue général aux personnes qui m'en font la demande par lettres affranchies.

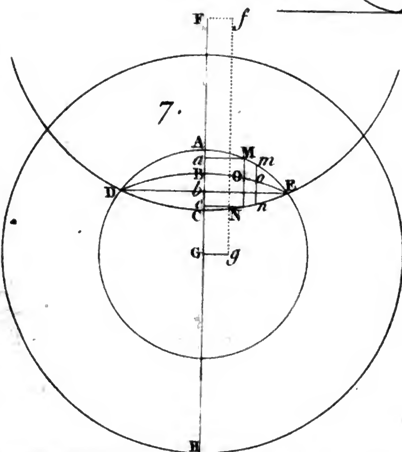
PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN,
RUE RACINE, N° 4.

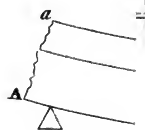

Fig. 1.ère
D
C
B
A

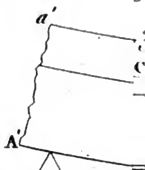

3.
C
A
M
B
D
N
E
F
G


2.
G
C
S
E
M
m
B
H
I
N
n
F
O
o
A
K


f
F
G
5.
A
E
D
B
C


F
f
7.
A
M
a
m
B
O
o
D
b
E
c
n
C
N
G
g
H


a
A


a'
A'

